FONDO PIZZOFALCONE

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XVI

Palchetto 4

Num.° d' ordine 34

9-C-29

NAZIONALE
B. Prov.
I
782
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
NAPOLI

B. T.
I
782

Digitized by Google

Digitized by Google

ÉLÉMENS

DE

PHILOSOPHIE NATURELLE.

Digitized by Google

ON TROUVE CHEZ LE MÊME LIBRAIRE :

NEIL ARNOTT. Mécanique des solides; à l'usage des gens de lettres, des médecins et des personnes les moins versées dans les mathématiques; traduite de l'anglais sur la *quatrième édition*, enrichie de notes et d'additions mathématiques, par T. Richard. Paris, 1830. 5 fr. 50 c.

LECOY. Méthode simple et facile pour lever les Plans, suivie d'un Traité du Nivellement, d'un Abrégé du Lavis et des Elémens de Trigonométrie rectiligne, avec 14 planches, dont 10 enluminées. *Cinquième édition*, revue et augmentée. Paris, 1830, 1 vol. in-12. 4 fr. 50 c.

LECOY. Manuel *ou* Guide de ceux qui veulent bâtir, ouvrage à l'usage des propriétaires des villes et des campagnes, où l'on trouve une méthode très-simple et à la portée de tout le monde, pour toiser, estimer et employer tous les matériaux qui entrent dans la bâtisse; suivi d'un Précis des lois et arrêtés relatifs à la bâtisse et à la voirie urbaine, avec 4 planches. *Deuxième édition*, revue, corrigée et considérablement augmentée. Paris, 1830, 1 vol. in-12. 4 fr. 50 c.

GRAY. Traité pratique de Chimie appliquée aux arts et manufactures, à l'hygiène et à l'économie domestique; traduit de l'anglais, considérablement augmenté et mis en harmonie avec nos besoins, nos usages et les matières que nous pouvons employer, par T. Richard; 3 vol. in-8°, et un atlas de 100 pl., ou 379 fig. Paris, 1829. 33 f.

COSTE. Traité des Roues hydrauliques et des Roues à vent, à la portée des personnes qui connaissent les premiers élémens des mathématiques, 1 vol. in-8°, avec planches. Paris, 1830. 3 fr.

COSTE. Etudes sur les Machines, d'après l'expérience et le raisonnement, 1 vol. in-4°, avec planches. 1828. 9 fr.

BRISSON. Dictionnaire de Physique, *deuxième édition*, revue et corrigée par l'auteur. Paris, 1800, 6 vol. in-8° et un atlas, in-4°. 24 fr.

— Le même, 2 vol. in-4° et un atlas in-4°. 30 fr.

LESPINASSE. Traité du Lavis des Plans, appliqué principalement aux reconnaissances militaires; ouvrage fondé sur les principes de l'art, qui a pour objet l'imitation de la nature, etc. Paris, 1830. 1 vol. in-8°, 9 planches. 5 fr.

— *Idem* figures enluminées. 15 fr.

LAPIE (officier supérieur au corps royal des ingénieurs, etc.) Atlas classique et universel de géographie ancienne et moderne, dressé pour l'instruction de la jeunesse; et servant à l'intelligence tant de l'histoire que des voyages dans les différentes parties du monde; contenant 42 planches. *Quatrième édition*, presque entièrement gravée sur de nouveaux dessins, enrichie des découvertes faites, et des connaissances acquises jusqu'à ce jour, et augmentée de plusieurs cartes. Papier colombier superfin, colorié. 56 fr.

HENRI (William). Elémens de Chimie expérimentale, traduits de l'anglais sur la 6e *édition*; par H. F. Gaultier-Claubry. Paris, 1812, 2 très-forts vol. in-8°, accompagnés de planches. 15 fr.

EDGEWORTH (Richard-Lovell). Essai sur la construction des Routes et des Voitures, augmenté d'une Notice sur le système de Mac-Adam; ouvrage utile aux propriétaires de campagne, aux maires des communes rurales, aux membres des conseils généraux, etc. et suivi de considérations sur les voies publiques de France, ainsi que sur les moyens les plus économiques et les plus prompts d'en compléter le développement, et d'en perfectionner le système; traduit de l'anglais sur la *deuxième édition*, par M. Ballyet, intendant militaire, 1 vol. in-8°, avec planches, 1828. 8 fr.

IMPRIMERIE DE DEMONVILLE,
rue Christine, n° 2.

606949
SBN

ÉLÉMENS
DE
PHILOSOPHIE NATURELLE,

RENFERMANT UN GRAND NOMBRE
DE DÉVELOPPEMENS NEUFS,
ET D'APPLICATIONS USUELLES ET PRATIQUES,
A L'USAGE
DES GENS DE LETTRES, DES MÉDECINS ET DES PERSONNES LES MOINS VERSÉES DANS LES MATHÉMATIQUES;

PAR NEIL ARNOTT,

TRADUITS DE L'ANGLAIS
SUR LA QUATRIÈME ÉDITION,
ENRICHIS DE NOTES ET D'ADDITIONS MATHÉMATIQUES,
PAR T. RICHARD.

TOME SECOND.

MÉCANIQUE DES FLUIDES.

ISTITUTO ORIENTALE NAPOLI BIBLIOTECA M. RIPA

PARIS,
CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,
LIBRAIRE POUR L'ART MILITAIRE, LES SCIENCES ET LES ARTS,
RUE DAUPHINE, N° 9.

1830.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

MÉCANIQUE DES FLUIDES.

DEUXIÈME PARTIE.

SECTION PREMIÈRE.

HYDROSTATIQUE.

ANALYSE DE LA SECTION.

Dans les fluides, les molécules se meuvent librement les unes sur les autres, et peuvent être séparées avec la plus grande facilité. Il résulte de cette propriété :

1. *La faculté qu'ils ont de transmettre également, en tous sens, les pressions que l'on exerce à leur surface ; loi connue sous le nom de* principe d'égalité de pression en tous sens. — *Ainsi : soit un vase hermétiquement fermé de toutes parts, exactement rempli de liquide, et dont la paroi serait percée d'un trou bouché par un piston chargé lui-même d'un poids quelconque, la pression exercée par ce piston se communiquera à travers le liquide dans tous les sens, et quelque part qu'on prenne une surface égale à la base du piston, elle sera pressée avec la même intensité que si ce piston y était immédiatement appliqué.*
2. *Dans toute masse fluide les molécules inférieures supportent le poids des molécules supérieures ; dès lors, la pression qu'elles éprouvent croît avec la profondeur de la couche à laquelle elles appartiennent, sans que ni la grandeur du vase qui les contient, ni sa forme, ni sa position, aient aucune influence.*
3. *La surface d'un fluide libre est toujours de niveau, et si l'on établit une communication entre un nombre quelconque de vases remplis d'un même fluide, le niveau s'établira dans tous,*

quelles que soient d'ailleurs leurs formes et leurs dimensions.

4. *Un corps plongé en tout ou en partie dans un fluide pesant et en équilibre, éprouve des pressions dont la résultante est verticale, dirigée de bas en haut, et égale au poids du fluide que le corps déplace. Cette résultante, qu'on appelle* poussée du fluide, *passe d'ailleurs par le centre de gravité du fluide déplacé; — le poids d'un corps plongé en tout ou en partie dans un fluide, est diminué du poids d'un volume de fluide égal à celui qu'il déplace par son immersion. — Cette loi conduit directement à la détermination des* POIDS SPÉCIFIQUES.

---

* *Fluides.* *

Nous avons vu dans la première partie de cet ouvrage, comment la même réunion d'atomes matériels pouvait passer de l'état solide à l'état fluide, et revenir du premier état au second; sans cesser d'être fluides, les corps peuvent former une masse dense, mais liquide comme l'eau, ou comme l'air, constituer une substance légère et élastique.—Une livre de glace, une livre d'eau, une livre de vapeur aqueuse, ne diffèrent l'une de l'autre que par la distance plus ou moins grande des molécules qui y entrent, et cette distance dépend elle-même de la quantité de chaleur à laquelle la masse est soumise. A l'état de glace, les molécules aqueuses, comparativement très-rapprochées, adhèrent les unes aux autres par leur attraction mutuelle, comme si quelque substance étrangère les cimentait; à l'état liquide, il semble que la répulsion du calorique balance exactement l'attraction, les particules se meuvent, roulent alors les unes sur les autres avec une liberté, une indifférence on pourrait dire, qui n'est restreinte que par le frottement qu'elles éprouvent entr'elles; à l'état de vapeur, la masse a passé sous l'empire de la répulsion, l'attraction est complète-

ment vaincue, il semble alors que les particules aqueuses soient séparées les unes des autres par une infinité de ressorts éminemment élastiques qui s'opposent à leur rapprochement.— On n'a remarqué jusqu'ici qu'un petit nombre de cas qui ne se prêtent point à une explication aussi simple et aussi satisfaisante d'un si grand nombre de phénomènes. Parmi ces exceptions se trouve l'eau, qui vient de nous servir d'exemple : en général, son volume diminue à mesure que sa température s'abaisse; cependant, arrivée à quatre degrés environ au-dessus de zéro, et la température continuant à baisser, l'eau prend tout à coup un accroissement de volume très-considérable. On peut encore citer, parmi ces exceptions, différentes espèces d'argiles qui, exposées à de hautes températures, se retirent sur elles-mêmes et diminuent de volume à mesure que la température s'élève.

Que la matière soit solide ou fluide, les propriétés des atomes, considérés individuellement, ne sont en rien altérées; ils restent toujours soumis aux quatre grandes lois générales que nous avons développées dans la première partie : nous avons étudié dans la Mécanique des Solides les importantes modifications qui résultaient de la *solidité*, c'est-à-dire de ce degré d'attraction qui fait que les molécules sont adhérentes et ne peuvent être séparées sans effort; nous allons voir que la seule circonstance de *fluidité* produit des phénomènes et conduit à des résultats pour le moins aussi remarquables.

Dans les liquides, les molécules, quoique comparativement assez rapprochées, ne paraissent cependant point être réellement en contact; ce qui tendrait à le prouver, c'est que le volume occupé par une masse liquide, peut être indéfiniment réduit par la compression. Cette réduction de volume exige, à la vérité, l'emploi d'une force considérable pour devenir sensible; toutefois la *compres-*

sibilité qu'on avait autrefois refusée aux liquides, est une propriété dont ils jouissent bien réellement, et que des expériences récentes ont mise pour jamais hors de doute.

Mais un solide ou un liquide passe-t-il à l'état de fluide aériforme ou de gaz, l'espace qu'il occupait d'abord augmente d'une manière surprenante : tel corps qui, à l'état liquide, remplissait une capacité d'un pied cube, ne pourra point être contenu dans un espace de quinze cents pieds ; on conçoit que dans cet état les fluides devront être hautement compressibles et dilatables. C'est à cette élasticité qu'ils sont redevables des importans phénomènes que nous étudierons dans la pneumatique, qui fait l'objet de la section suivante.

* *La propriété caractéristique des fluides, celle qui les distingue des solides, est la faculté qu'ils ont de transmettre également, en tous sens, les pressions que l'on exerce à leur surface. Ainsi : soit un vase hermétiquement fermé de toutes parts, exactement rempli de liquide, et dont la paroi serait percée d'un trou bouché par un piston chargé lui-même d'un poids quelconque, la pression exercée se communiquera à travers le liquide dans tous les sens, et quelque part qu'on prenne une surface égale à la base du piston, elle sera pressée avec la même intensité que si le piston y était immédiatement appliqué. Telle est la loi connue sous le nom de principe d'*ÉGALITÉ DE PRESSION EN TOUS SENS.

Cette loi, découverte par Pascal, et dont on a fait de si utiles applications à la science des machines, explique, comme nous aurons l'occasion de voir, des phénomènes naturels extrêmement remarquables ; tâchons donc de la bien concevoir.

Lorsqu'un homme comprime entre ses doigts une vessie remplie d'air et fermée de toutes parts, on conçoit facilement que la pression éprouvée par cet air ne soit pas plus grande là où les doigts sont appliqués que dans toute autre partie de la vessie.—Chaque point de sa surface intérieure oppose en effet au fluide renfermé une résistance égale, et ce qui le prouve, c'est qu'en quelque point qu'on pratique une ouverture, l'air s'échappe avec la même vitesse. — Ceci est une conséquence nécessaire de cette propriété des fluides, qui permet à leurs molécules de glisser les unes sur les autres sans autre obstacle qu'un léger frottement, propriété dont il résulte qu'une molécule considérée isolément ne peut rester au repos qu'autant qu'elle est également pressée dans toutes les directions.

Donnons encore un exemple (*fig.* 1) : *B* est un vase qui contient un liquide supposé sans pesanteur, et surmonté d'un tube *ac*, dans lequel se meut librement un piston chargé d'un poids égal à une livre ; il est clair que ce piston ainsi chargé fait effort pour descendre, et descendrait en effet si le liquide ne s'y opposait pas. — La couche de liquide qui touche la surface inférieure du piston *c* en supporte donc tout le poids, et les molécules qui la composent, prises ensemble, sont chassées avec une force d'une livre ; elles tendent à obéir à cette force, mais rencontrant les couches voisines de liquide, elles sont arrêtées dans leur marche, et dès-lors ne peuvent que les pousser avec la force qui agit sur elles-mêmes ; ces dernières, à leur tour, agissent sur les suivantes, et l'action se transmet ainsi, de proche en proche et dans tous les sens, jusqu'aux parois du vase qui contient le liquide, et qui se trouvent ainsi pressées avec la force d'une livre sur chaque partie de leur surface égale à l'aire du piston. Ce mode de transmission bien compris, il est facile de voir que, les

conditions restant les mêmes, le piston *b*, dont nous supposons l'aire égale à celle du piston *c*, se trouvera poussé de bas en haut avec une force égale à une livre ; — si son aire était double de celle du piston *c*, il serait donc poussé avec une force de deux livres ; — si son aire était décuple, il le serait avec une force égale à dix livres, c'est-à-dire que généralement *la pression est proportionnelle à l'étendue de la surface que l'on considère* (1).

On conçoit sans doute fort bien que si l'on remplaçait le piston *c*, chargé du poids d'une livre, par une livre d'eau qu'on introduirait dans le tube *a*, tout se passerait de la même manière; on pourrait donc aussi remplacer les pistons des autres tubes par des quantités d'eau équivalentes, et l'équilibre ne subsisterait évidemment que lorsque le liquide serait au même niveau dans tous les tubes.

Il résulte de ces diverses considérations, qu'au moyen d'un liquide renfermé dans un vase, on peut, avec une seule livre d'eau, produire une pression équivalente à dix, à cent, à mille, à dix mille livres, etc. C'est ce fait qu'on a bien voulu appeler un *paradoxe hydrostatique*, quoiqu'il

---

(1) Soit a l'aire du piston,

p le poids dont il est chargé,

A une surface quelconque prise sur les parois du vase qui contient le liquide,

P la pression perpendiculaire qu'éprouve cette surface, on a la relation suivante :

$$P = \frac{pA}{a}.$$

Si l'on rapporte la pression à l'unité de surface (le centimètre, le décimètre carré), on a

$$P = pA.$$

Il est bien entendu qu'on fait ici abstraction de la pesanteur du liquide.

(*Note du traducteur.*)

n'y ait rien de plus paradoxal dans cette machine que dans le levier, la poulie ou toute autre. — Nous disons dans cette *machine*, parce qu'en général on appelle ainsi tout appareil au moyen duquel une force agit sur des points qui se trouvent hors de sa direction, et produit sur ces points un plus grand ou un plus petit effet que si elle y était immédiatement appliquée ; et nous ne voyons point ici de *paradoxe*, parce que le principe des vitesses virtuelles s'observe ici comme dans toutes les autres machines connues. Il suffit, pour s'en convaincre, de remarquer que si le tube *a* (*fig.* 1) est dix fois plus petit que le tube *e*, le piston devra s'abaisser de dix pouces dans le premier tube, pour élever d'un seul pouce le grand piston dans *e*.

Les puissances sont donc encore ici *en raison inverse des espaces qu'elles parcourent*, et il n'y a rien, dans le cas actuel, de plus extraordinaire que de voir un poids d'une livre, suspendu à un long bras de levier, faire équilibre à un poids de dix livres suspendu au bras le plus court.

On peut rendre sensible ce principe de l'égalité de pression en tous sens, par l'expérience suivante. Soit *a* (*fig.* 2) un tonneau rempli d'eau et surmonté d'un tube étroit *bc* d'une hauteur assez grande, quelques onces d'eau versées dans ce tube suffisent pour écarter les douves et faire jaillir le liquide par toutes les fentes, voire même pour faire éclater le tonneau. Quelque extraordinaire que puisse paraître un tel fait, la surprise cesse, si l'on réfléchit qu'en donnant à la section du tube une aire d'un quarantième de pouce, par exemple, une demi-livre d'eau introduite dans ce tube pressera chaque quarantième de pouce de la surface intérieure du tonneau avec une force égale à une demi-livre ; ce qui fait une force de pression

bien supérieure à celle à laquelle un tonneau ordinaire puisse résister.

Le *soufflet hydrostatique* (*fig.* 3) offre un effet du même genre. Cet appareil se compose, comme on le voit, de deux plateaux de bois réunis par une forte pièce de cuir, à la manière de nos soufflets ordinaires : un long tube *ab* recourbé à angle droit, met l'intérieur de l'appareil en communication avec le petit entonnoir *a* qui le termine. Si ce tube *ab* peut contenir une once d'eau seulement, et que sa section soit $\frac{1}{1000}$ de l'aire du plateau supérieur, ce plateau, au moment où l'on introduira l'eau dans le tube, sera poussé de bas en haut avec une force de 1000 onces, et soulèvera les poids *d*. Si l'on substituait à l'eau, du mercure, l'effet serait environ quatorze fois plus grand, parce que, à volume égal, le mercure pèse environ quatorze fois autant que l'eau; d'où l'on voit qu'un homme qui monterait sur le plateau supérieur d'un pareil soufflet, parviendrait à se soulever en soufflant dans le tube avec sa bouche.

Bramah a fait une heureuse application de ce principe aux arts industriels. La figure 4 donne une idée suffisante de la machine, aussi utile que puissante, à laquelle il a donné le nom de *presse hydraulique*, et dont il est l'inventeur.

La plus grande analogie existe entre ce mécanisme et le soufflet hydrostatique. C'est en quelque sorte un soufflet dans lequel on a remplacé le tube par une pompe de condensation, le cuir par un cylindre, et le plateau supérieur par un piston. *Ab* est ce cylindre ou corps de pompe auquel on donne une très-grande épaisseur, et *c* le piston qui se meut dans ce cylindre. Cette dernière pièce a reçu le nom de piston travaillant. Elle est liée par sa partie supérieure à un plateau support *g*, ordi-

nairement en fer, sur lequel sont placés les objets soumis à l'action de la presse. Ce piston se meut de bas en haut, en vertu de la compression exercée sur sa partie inférieure par le liquide contenu dans la cavité *f*, liquide sur lequel agit le piston *e* de la petite pompe, dont la tige se meut par l'action puissante d'un levier *d*. Supposons maintenant que la base du petit piston *e* soit $\frac{1}{1000}$ de celle du piston travaillant, et qu'à l'aide du levier *d* on exerce une pression en *e* de 500 livres, le principe de l'égalité de pression nous montre que, dans de telles hypothèses, le grand piston se trouvera soulevé avec une force de 1000 fois 500 livres ou 500,000 livres. Telle serait la puissance de cette presse, machine pour ainsi dire irrésistible, et dont on a tiré un parti extraordinaire; on l'a fait servir à exprimer des huiles, à rendre compactes et moins volumineuses les masses qu'on embarque à bord des navires, à presser le tabac en feuilles, à réduire le foin en masses presque solides qui se conservent parfaitement, à soulever de grands fardeaux, etc., etc.

Le *dilatateur* est un instrument de chirurgie susceptible d'un grand nombre d'applications, et dont l'action dépend de la même loi. Cet utile appareil, fruit des recherches de l'auteur de cet ouvrage, a été surtout employé avec beaucoup de succès par son frère James Arnott (chirurgien en chef de la compagnie des Indes orientales). On trouvera dans le Traité des maladies de l'urètre, qu'on doit à ce dernier, des documens précieux sur l'emploi de cet instrument que nous nous réservons de faire mieux connaître dans la section médicale de cette Mécanique des fluides. Un grand nombre de médecins anglais, lorsque cet instrument commença à être connu, contestèrent les avantages que devait présenter son emploi, et cela, parce qu'ils ignoraient cette loi des fluides, *égalité de pression dans tous les sens!!*. Le

dilatateur n'est au fond qu'une presse hydraulique qui permet à l'opérateur d'agir avec tous les degrés de force.

Dans toute masse fluide, les molécules inférieures supportent le poids des molécules supérieures, et par conséquent la pression qu'elles éprouvent croît avec la profondeur de la couche à laquelle elles appartiennent, sans que ni la grandeur du vase qui les contient, ni sa forme, ni sa position aient aucune influence.

Puisque les atomes sont soumis à la pesanteur, il faut bien que la seconde couche d'un liquide soit pressée par tout le poids de la première; il faut encore que la troisième supporte la charge de la seconde, plus le poids de cette dernière; il faut enfin que la quatrième supporte la troisième, plus sa double charge, et ainsi de suite. C'est, au surplus, ce dont il est facile de s'assurer par expérience, au moyen d'un tube vertical qu'on remplit plus ou moins de liquide, et qu'on ferme inférieurement par un piston parfaitement mobile lié à un levier dont l'autre bras indique la pression du liquide. Or, ce qui a lieu pour la colonne entière renfermée dans le tube, a lieu pour les filets verticaux de liquide dont on peut la regarder comme formée, tout comme cela aurait lieu pour une série de briques empilées verticalement les unes au-dessus des autres.

Un tube dont la section aurait un décimètre carré de surface, contiendrait dix kilogrammes d'eau s'il avait un mètre de hauteur; de là cette approximation qu'il est bon de retenir, que la pression de l'eau soit sur le fond d'un vase, soit sur les corps qui y sont plongés, est d'environ dix kilogrammes par décimètre carré de surface pour chaque mètre d'enfoncement, et par conséquent

d'un kilogramme par décimètre carré pour chaque décimètre d'enfoncement (1).

On peut juger par là des énormes pressions qui s'exercent dans les mers à de grandes profondeurs.

Si l'on y descend un flacon de verre à parois planes, vide et parfaitement bouché, il est rare qu'il parvienne à une profondeur de vingt mètres seulement, sans être brisé par la pression du liquide.

Un homme qu'on descendrait ainsi en l'enfermant dans un tonneau rempli d'air serait bientôt noyé par le liquide, qui ne tarderait point à défoncer cette nouvelle embarcation sous-marine.

Lorsqu'un navire vient à couler bas près de la côte, les débris en sont le plus souvent jetés sur la plage; dans une eau profonde, au contraire, la pression énorme du liquide le fait pénétrer dans les pores du bois et le rend tellement pesant, que nulle pièce ne remonte à la surface décéler son destin.

La bulle d'air qui s'échappe du fond d'un vase rempli de liquide, augmente de volume à mesure qu'elle s'élève, parce que la pression diminue sans cesse.

---

(1) On a souvent besoin d'exprimer cette pression d'une manière générale.

Soit s la portion de surface que l'on considère,

h la hauteur du niveau du liquide au-dessus du centre de gravité de cette surface,

d la densité du liquide,

p la pression supportée par le corps qui est plongé dans le liquide, on calculera cette pression au moyen de la relation

$$p = s\,h\,d.$$

Si l'on prend le *décimètre* pour unité de mesure, la pression se trouve dès-lors exprimée en *kilogrammes*; si l'on prenait le *centimètre*, on l'obtiendrait en *grammes*.

(*Note du traducteur.*)

L'homme qui plonge à une grande profondeur a beaucoup à souffrir de la compression qu'éprouve sa poitrine. Il est donc une limite que les plongeurs ne peuvent impunément dépasser.

On ne connaît point la limite de la pression à laquelle les poissons peuvent être soumis sans danger, mais on les trouve réunis en grand nombre dans les eaux peu profondes, près des côtes par exemple, ou sur des bancs au milieu de l'Océan, tels que le banc de Terre-Neuve, le Dogger-Bank, etc. — Les vaisseaux qui doublent le cap de Bonne-Espérance passent à une distance considérable de la terre ferme au-dessus du banc des Lagullas ou des Aiguilles; il suffit de jeter dans ce lieu un hameçon amorcé avec un chiffon rouge pour attraper immédiatement une morue.

L'expérience la plus facile pour prouver la compressibilité de l'eau, consiste à descendre dans une mer profonde un vase préparé de la manière suivante.

Le vase peut n'avoir qu'un seul orifice circulaire; on le remplit d'eau par cette ouverture, et on la ferme ensuite non pas avec un bouchon, mais avec une tige qui puisse glisser dans cette ouverture. On fait descendre le vase à une certaine profondeur, la tige pressée par le liquide extérieur s'enfonce de dehors en dedans, et si cette tige est entourée d'un anneau qui glisse sur elle avec assez de difficulté pour conserver la position qu'il aura prise au fond de l'eau, il sera facile de juger de quelle quantité la tige se sera enfoncé dans ce vase, et par conséquent de la compression que le liquide intérieur aura subie.

Oersted a imaginé un ingénieux appareil qui lui a servi à mesurer la compressibilité de l'eau; il a trouvé que sous une force équivalente au poids d'une colonne

de mercure de 760 millimètres, ou d'une colonne d'eau de 10.^{m}4 qui est le poids ordinaire de l'atmosphère, l'eau diminue des 46 millionièmes de son volume primitif. Par conséquent, s'il existe en mer des profondeurs de 13,600 mètres, ce que rendent vraisemblables les hauteurs de certaines montagnes, la pression de l'eau y est d'environ 1,300 atmosphères, et le volume diminué de 6 centièmes; c'est-à-dire qu'un litre d'eau porté de la surface à cette profondeur, n'occuperait plus qu'un volume de 0.94 litres.

Les faits suivans montrent que dans un fluide libre, aussi bien que dans un fluide renfermé, la pression a lieu dans tous les sens, et croît avec la profondeur.

Un bouchon de liége qu'on descend à une grande profondeur dans la mer, n'est point aplati comme cela aurait lieu si la pression était inégale, mais ses dimensions se réduisent dans tous les sens.

Si l'on attache un poids à une bouteille vide et bouchée, pour la faire descendre à une certaine profondeur dans la mer, le bouchon ne tarde point à s'enfoncer de dehors en dedans, de quelque manière qu'on ait d'ailleurs disposé la bouteille, et soit que le goulot ait été tourné vers le haut, vers le bas ou de côté.

Supposons un vase quelconque percé d'ouvertures sur ses parois latérales, à différentes hauteurs, et fermées par des soupapes qui ne puissent s'ouvrir qu'en vertu d'efforts connus, remplissons ce vase de liquide, nous verrons toutes les soupapes situées à la même profondeur au-dessus du niveau du liquide, s'ouvrir en même temps; nous trouverons, en variant convenablement l'expérience, qu'une soupape disposée au fond du vase ne cédera pas plus facilement à la pression du liquide, que toute autre

soupape placée sur les parois latérales, pour une même profondeur au-dessous du niveau.

Dans un vase cubique ouvert par le haut et rempli de liquide, la pression totale sur une des parois verticales, est exactement la moitié de la pression totale soufferte par le fond. En effet, le centre de cette paroi est situé à une profondeur qui n'est que la moitié de celle à laquelle est situé le fond; la pression à laquelle se trouve soumise la ligne horizontale qui passe par ce centre, n'est donc aussi que la moitié de celle soufferte par la ligne qui divise ainsi le fond en deux rectangles égaux. Il est vrai qu'au-dessous de l'horizontale qui passe par le centre de la paroi, la pression devient plus grande, puisque la profondeur est elle-même plus grande; mais il faut remarquer qu'au-dessus de cette horizontale la pression diminue précisément dans le même rapport : ces augmentations et ces diminutions se compensent, et la pression totale est, comme nous l'avons dit, moitié de celle soufferte par le fond. Il est facile de déduire de cette vérité la pression totale exercée tant sur le fond que sur les parois d'un vase cubique rempli de liquide. Pour peu qu'on y réfléchisse, on trouvera qu'elle est égale à trois fois le poids du liquide contenu dans le vase.

En raisonnant par voie de compensation, à peu près comme nous l'avons fait ci-dessus, on trouverait que pour qu'une vanne d'écluse rectangulaire et verticale résistât à la pression de l'eau, le point par lequel il faudrait la soutenir serait situé sur la verticale passant par le milieu de sa base et à un tiers de sa hauteur, à partir du fond de l'eau. Ce point est ce qu'on nomme le *centre de pression*, et sa détermination est utile dans tous les genres de travaux hydrauliques.

La pression exercée sur une portion quelconque de la paroi verticale d'un vase étroit, est exactement la même

que celle qui serait supportée par une portion égale de la paroi d'un vase infiniment grand : ce résultat n'a rien de surprenant, puisque cette pression ne dépend que de l'étendue de la surface pressée et de la profondeur à laquelle elle se trouve au-dessous du niveau.

Ainsi l'écluse de nos bassins qui retient l'Océan dans ses limites, celle qui s'oppose aux invasions d'un lac, celle qui contient les eaux d'un modeste canal, éprouvent toutes des pressions égales, la forme et la profondeur au-dessous du niveau restant d'ailleurs les mêmes; et si toute la masse des eaux du globe se trouvait renfermée entre deux vannes immenses, ces vannes n'éprouveraient que la pression à laquelle on pourrait les soumettre en les rapprochant l'une de l'autre à la distance de quelques pouces, et remplissant de liquide l'espace laissé entre elles jusqu'à la même hauteur.

On peut maintenant juger de l'instruction de ceux qui regardaient comme une rêverie le projet d'établir un canal de communication entre la mer Rouge et la Méditerranée. Ils s'imaginaient que les vingt pieds de différence de niveau qui existent entre ces deux mers, rendaient totalement impossible l'établissement d'écluses, et qu'un déluge partiel serait le résultat inévitable de cette grande entreprise.

Quelques-unes des révolutions de la surface du globe sont les conséquences du même principe; il peut produire des tremblemens de terre, fendre ou faire écrouler des montagnes. Supposons, par exemple, que dans le sein d'une montagne il se trouve un vide horizontal de trente à quarante pieds carrés, sur quelques pouces seulement de hauteur, et que les pluies ou d'autres causes viennent à former un conduit qui du haut de la montagne descende jusque dans l'espace vide, et ait une longueur de plusieurs centaines de pieds; lorsque l'eau aura rempli

la cavité, et qu'elle s'élevera dans ce tube d'une nouvelle espèce, la montagne pourra être brisée en éclats si elle a résisté quelque temps aux premiers efforts de l'eau qui, s'élevant de plus en plus, acquerra une incroyable énergie.

La même chose arriverait si une sonde enfoncée profondément atteignait un réservoir d'eau souterraine, et que la pluie vint à remplir le trou ; une contrée entière pourrait se trouver bouleversée si le réservoir avait plusieurs lieues d'étendue.

On a vu des murailles d'une grande étendue, élevées pour résister à la poussée des terres, crever par la pression des eaux que la pluie avait introduites derrière elles, parce qu'on avait négligé d'y pratiquer des chantepleures pour l'écoulement.

C'est encore parce que la pression des fluides s'exerce dans toutes les directions, et proportionnellement à la profondeur au-dessous de leur niveau, qu'on voit crever les tuyaux de plomb qui servent à l'écoulement des eaux ménagères, lorsque, par quelqu'accident, l'orifice inférieur vient à se boucher. — Les conduites d'eau souterraines offrent encore de nombreux exemples de ce genre d'accidens, quand le réservoir d'alimentation est fort élevé. — Enfin, la connaissance de ce principe montrera que la prudence des brasseurs n'est point exagérée, lorsqu'on les voit faire donner une si grande force à la partie inférieure de leurs immenses cuves, destinées à contenir quelquefois plusieurs milliers de tonneaux de bière ; — et ceux de nos lecteurs qui se sont trouvés à bord d'un vaisseau qui fait eau, s'expliqueront, à l'aide du même principe, la violence extrême avec laquelle le liquide se précipite dans la cale, lorsque la voie d'eau a lieu près de la quille, et que le navire a un tirant considérable.

Quelques personnes ont de la peine à concevoir que

la pression communiquée à un fluide renfermé dans un vase, s'exerce aussi bien de bas en haut que de haut en bas, ou que latéralement; cependant il est facile de remarquer que si les molécules inférieures n'agissaient point ainsi de bas en haut avec une force proportionnelle à la pression qu'elles ont à supporter, elles ne pourraient soutenir les molécules supérieures. On peut, au surplus, s'assurer encore de cette vérité par l'expérience suivante : qu'on ait un tube ouvert d'un côté et fermé de l'autre, par un piston mobile dans ce tube, qu'on le plonge partiellement dans un liquide par l'extrémité qui porte le piston, l'eau pressera le piston de bas en haut avec une force proportionnelle à la profondeur au-dessous du niveau, et cela est si vrai, qu'en ôtant le piston l'eau s'élève dans le tube jusqu'à ce niveau même, ce qui montre visiblement que la surface inférieure du piston était pressée de bas en haut par une colonne de liquide d'une hauteur égale à la profondeur du piston.

La pression d'un fluide dépend de la profondeur verticale au-dessous de son niveau; elle n'est nullement influencée par la forme, la dimension ou la position du vase qui le renferme.

Un corps plongé à un pied de profondeur dans l'Océan, dans l'eau d'un lac ou dans un petit réservoir, éprouve des pressions parfaitement égales, en supposant toutefois que ces différentes eaux aient une même densité.

Soient, figure 5, différens vases de formes et de capacités très-différentes, et terminés inférieurement par des fonds plats *a b c* égaux en surface; si l'on remplit ces différens vases d'un même liquide et à la même hauteur dans chacun d'eux, ainsi que l'indiquent les lignes ponctuées de la figure, la pression sur les fonds sera

partout la même, bien que les quantités d'eau renfermées dans les vases soient visiblement très-différentes.

C'est là une vérité dont il est facile de s'assurer par expérience. Il suffirait pour cela de fermer les vases par des fonds mobiles qu'on retiendrait par des ressorts qui indiqueraient la pression qu'ils supportent, ou par des fils passant sur une poulie et retenus par des poids. On pourrait encore établir la communication des trois vases *a b c*, en remplissant de liquide la caisse sur laquelle ils reposent; on verrait le liquide prendre le même niveau dans tous les vases, ce qui indique évidemment que la pression exercée est la même de tous côtés. Ces résultats ont toujours quelque chose qui étonne; on a quelque peine à concevoir que le vase *a*, par exemple, exerce sur son fond une pression moindre que le poids du liquide qu'il contient; cependant, si l'on solidifiait par la pensée tous les filets liquides verticaux, si pour un moment on les supposait remplacés par une infinité de petites tiges de verre, ne paraîtrait-il pas évident que les seules tiges dont l'extrémité inférieure viendrait toucher le fond, pourraient presser sur lui, et que celles qui s'appuieraient sur les parois obliques ne pourraient en aucune façon augmenter ou diminuer la pression des premières.

Rappelons-nous donc que *la pression est égale dans toutes les directions;* qu'*elle croît avec la profondeur au-dessous du niveau*; qu'*elle croît* enfin *avec l'étendue de la surface plongée.*

Niveau des Fluides. (Voyez l'*analyse.*)

Le niveau que prennent les fluides est une conséquence nécessaire de l'attraction et de leur mobilité. Supposons un instant que les molécules situées à la sur-

face ne soient point de niveau, qu'une couche liquide, par exemple, soit plus élevée que les couches environnantes; il est évident qu'une tranche quelconque de cette couche va se trouver pressée de tout le poids des tranches situées au-dessus d'elle. Or, nous avons vu que la pression était égale dans tous les sens, qu'elle s'exerçait latéralement aussi bien que de bas en haut; les molécules situées à la circonférence de la tranche vont donc se trouver chassées latéralement par celles qui les avoisinent; elles sortiront de la couche, puisque rien ne les retient, et elles seront remplacées par celles qui les ont chassées; mais ce qui a eu lieu dans le premier instant va avoir lieu par les mêmes causes dans le second, et ces effets se continueront tant qu'il y aura une couche liquide située au-dessus des autres, puisqu'il y aura toujours une pression latérale qui ne sera point vaincue. N'est-il pas évident dès-lors que la masse liquide ne sera en repos que lorsque toutes les molécules se seront disposées sur une surface normale aux forces qui les sollicitent, c'est-à-dire aux directions de la pesanteur. Cette position d'équilibre est précisément ce qu'on appelle leur *niveau*.

De même qu'un corps sphérique roule le long d'une colline ou d'un plan incliné, jusqu'à ce qu'il rencontre un obstacle qui l'arrête; de même les molécules liquides situées au-dessus de leurs circonvoisines, descendent des points les plus élevés de la masse, jusqu'à ce qu'elles se soient toutes étendues sur le niveau général de l'ensemble.

Considérée dans toute sa généralité, une surface de niveau est réellement celle dont tous les points sont situés à égale distance du centre de la terre: ce serait donc une surface sphérique; cependant, les dimensions du globe sont tellement grandes, que dans les usages

ordinaires, dans la pratique de certains arts même, on peut et on doit en effet regarder comme une surface parfaitement de niveau, toute surface plane perpendiculaire à la direction du fil à plomb. Un calcul bien simple montre en effet que si l'on faisait passer un plan sécant par la sphère terrestre, de manière à en détacher une calotte dont la base aurait cinquante mètres de diamètre, le point le plus élevé de la calotte au-dessus du cercle qui formerait sa base, ne le serait même point de l'épaisseur d'un cheveu. — Si la calotte avait cent mètres de diamètre, sa hauteur ne serait encore que d'un cinquième de millimètre; pour deux cents mètres de diamètre, on aurait un peu moins d'un millimètre de hauteur; enfin, pour deux mille mètres de diamètre, la hauteur de la calotte serait huit centimètres environ, ou à peu près trois pouces.

La surface d'un liquide est si parfaitement nivelée, qu'elle réfléchit ou renvoie les rayons lumineux avec la fidélité la plus scrupuleuse. Ils reviennent si exactement de cette surface à l'œil dans l'ordre où les corps environnans les lui envoient, qu'on a quelque peine à se persuader que ces corps ne soient point situés dans la direction où ils se présentent. — Les fontaines, le clair ruisseau étaient le miroir des bergères de l'antiquité; c'est là qu'elles apprenaient le secret de leurs charmes. — C'est encore là qu'aujourd'hui le jeune montagnard, penché sur le bord des lacs, contemple, avec autant de plaisir que de surprise, ce paysage renversé, ces bois, ces montagnes qu'il regarde comme la demeure des fées et des malins esprits.

Dans la construction des routes, dans l'établissement des canaux, et dans un très-grand nombre d'opérations du ressort de l'ingénieur, il est d'une extrême importance de déterminer la différence de niveau d'un grand

nombre de points de la surface terrestre. On emploie à cette détermination un petit instrument connu sous le nom de niveau à bulle d'air, et dont la figure 6 peut donner une idée. Ce n'est autre chose qu'un petit tube de verre *ac*, fermé à ses deux extrémités et rempli d'esprit de vin, de manière cependant à laisser dans son intérieur une petite bulle d'air. Lorsque ce tube est horizontal, la bulle *b* n'éprouve aucune tendance à se mouvoir d'un côté ou d'un autre; mais pour peu que le niveau s'incline, la bulle monte immédiatement du côté le plus élevé, ou, pour parler plus correctement, le liquide plus dense vient occuper la partie inférieure et en chasser la bulle, qui est plus légère que lui. Ce petit instrument, fixé à une lunette ou simplement à une règle de cuivre munie de pinnules à travers lesquels on aligne, est souvent le seul guide de l'ingénieur dans un grand nombre de travaux importans.

Un cercle qui embrasserait la terre s'abaisserait, ainsi que nous l'avons vu plus haut, de huit centimètres ou trois pouces environ pour mille mètres de distance horizontale. On devrait donc, si l'on voulait creuser un canal dont toute la longueur fût au même niveau, en abaisser le fond de trois pouces pour mille mètres de distance horizontale.

Mais les canaux qui conduisent des ports de mer dans l'intérieur des terres, doivent le plus souvent s'élever d'une certaine hauteur. Voici comment on s'y prend en général pour élever les bateaux au-dessus du niveau de la mer ou les y faire descendre. On divise le canal dans le sens de sa longueur, en plusieurs parties désignées par le nom générique de *biefs*, liées les unes aux autres par des espèces de bassins qu'on appelle des écluses, au moyen desquelles on passe d'un bief à un autre. Ces biefs sont établis à différentes hauteurs, et peuvent être

Digitized by Google

assimilés à des échelons ou gradins servant à franchir les plateaux des montagnes qui séparent les points entre lesquels on veut établir la navigation.

Pour passer du bief supérieur dans l'inférieur, on remplit l'écluse intermédiaire jusqu'au niveau de l'eau du bief supérieur, et on introduit le bateau dans cette écluse; on abaisse ensuite l'eau qu'on y avait introduite, jusqu'à ce que le bateau se trouve au niveau du bief inférieur, dans lequel on peut alors le faire entrer.

L'opération inverse sert à élever le bateau d'un bief inférieur au supérieur; et dans l'un et l'autre cas, le volume de l'eau employé à remplir l'écluse est perdu pour la navigation de toute la partie du canal qui se trouve au-dessus du bief placé au bas de cette écluse.

Les canaux de navigation sont les grands moyens que le commerce emploie pour répartir avec économie les productions du sol ou de l'industrie sur la surface d'un vaste territoire. Leur nombre est à la fois une des mesures de la civilisation d'un pays et l'un de ses plus puissans moyens d'accroissement. Sans revenir sur l'importance extrême des communications intérieures, que nous avons esquissée dans la première partie de cette mécanique, contentons-nous de remarquer ici que le cheval qui, sur nos meilleures routes, traîne avec difficulté un poids de mille kilogrammes, meut avec la même vitesse sur un canal, et sans éprouver plus de fatigue, un bateau vingt ou même trente fois aussi chargé.

Honneur aux sciences et aux arts, qui nous ont donné les moyens de conduire nos vaisseaux jusque dans les tranquilles vallées de l'intérieur! Qui pourrait ne pas être frappé d'admiration à la vue de ce canal calédonien qui joint aujourd'hui les côtes opposées de l'Ecosse! Quel spectacle, en effet, que ces nobles frégates qu'on voit parcourir les solitudes de ce pays romantique, dé-

ployant leur grâce et leur majesté aux regards étonnés du berger des montagnes, et visitant ces lacs silencieux dont les eaux ne portaient naguère que l'esquif du chasseur; puis après avoir ainsi traversé le royaume, redescendre majestueusement les degrés liquides préparés par la main des hommes, pour aller reprendre leur place sur les vagues de l'Océan.

Il a été question, depuis quelques années, de creuser aussi un canal de navigation pour les vaisseaux, à travers l'isthme qui sépare les deux Amériques. L'élévation du point de partage, qui est considérable, présente sans doute de grandes difficultés d'exécution; mais les fruits de cet immense travail seraient si précieux, ses résultats si importans, qu'il y a lieu de croire qu'avec la continuation de la paix générale et les progrès de la raison en politique, ce grand projet recevra un jour son exécution. S'il en était ainsi, un navire tout chargé s'éleverait par degrés des plaines de l'Atlantique jusqu'au sommet des montagnes, et se verrait quelques heures plus tard sûrement logé dans un port de l'Océan pacifique; au lieu de s'exposer comme aujourd'hui à une fatigante et périlleuse navigation de quelques mois, pour aller tourner la pointe du continent méridional, et remonter ensuite à la latitude d'où il était parti. — Et si ce célèbre canal de l'antiquité, ouvert autrefois en Egypte du Nil à la mer Rouge, pouvait être rétabli, ainsi qu'avait projeté de le faire l'armée française lors de la conquête de l'Egypte, le vaste empire des Indes se verrait pour jamais rapproché de l'Europe; il lui emprunterait ses lumières et sa civilisation, et les liens de la fraternité, qui doivent à la longue unir toutes les nations de la terre, se resserreraient de plus en plus pour le plus grand avantage de chacune d'elles. — Alors on pourrait dire, avec bien plus de vérité, que la terre ne serait qu'un immense

jardin accordé à l'homme pour son habitation, et dont chaque partie aurait ses fruits et ses produits particuliers, que les échanges rendraient bientôt communs, confondant ainsi, en chaque point de la surface terrestre, tous les sols et tous les climats.

Dans un canal, la plus légère déviation du niveau vrai imprime à l'eau un mouvement qui la pousse vers l'extrémité la moins élevée. Cette tendance à venir occuper les points inférieurs de la surface du globe est la cause de ces myriades de cours d'eau qui la sillonnent dans toutes les directions et la rendent le théâtre de changemens perpétuels.

De même que dans l'appareil circulatoire des corps animés, des radicules déliés naissant dans les systèmes capillaires, y recueillent, en vertu de la force vitale, le sang qui a porté la vie dans toutes les parties de l'individu, et le rapportent, par des rameaux de plus en plus gros et de moins en moins nombreux, jusqu'au grand réservoir, le cœur; de même, à la surface du globe, la tendance des fluides à reprendre leur niveau réunit les eaux pluviales lorsqu'elles ont exercé leur action bienfaitrice sur les végétaux, et rafraîchi la nature, en filets déliés qui descendent des hauteurs pour aller, après mille détours, former les rivières, qui se jettent à leur tour dans les fleuves chargés de porter toute la masse au réservoir commun, l'Océan. — De même encore que chez les animaux, les artères vont porter un sang vivifiant à tous les points où les veines l'ont saisi pour le ramener au cœur et compléter l'acte de la circulation; de même aussi la chaleur et les divers phénomènes atmosphériques élèvent sans cesse de la surface immense de l'Océan, des vapeurs aqueuses que les vents vont déposer sur la terre sous forme de pluie ou de rosée.

Une très-légère inclinaison suffit pour rendre l'eau

courante. On a reconnu que sous une pente de vingt-sept millimètres pour cent mètres, la vitesse de l'eau était d'environ deux mètres trois-quarts par minute; sous une pente de quatre centimètres pour une même longueur, la vitesse est presque triple de la dernière, car l'eau parcourt un espace de huit mètres environ dans le même temps. Le Gange, qui recueille les eaux des monts Himalaya, les plus élevés du monde, n'est que de 250 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, à 1600 milles de son embouchure, et ses eaux mettent plus d'un mois à descendre de cette hauteur, qui n'équivaut qu'à trois fois environ celle du Panthéon de Paris. — La Seine, dans ses moyennes eaux à Paris, est à seize toises au-dessus de l'Océan; le développement de son cours entre ces deux points est d'environ 60 lieues; il faut plus de sept jours pour que ses eaux parcourent cette distance. — La grande rivière de la Madeleine, dans l'Amérique du Sud, qui court dans une longueur de 100 lieues entre deux rameaux des Andes, ne descend que de 150 mètres dans toute cette distance; au-dessus de ce point, c'est en torrens et en cataractes qu'elle roule des montagnes; car en général le lit des fleuves, celui même des rivières, ne forme pas un plan incliné uniforme, en le considérant depuis sa source jusqu'à l'embouchure; c'est un assemblage de plusieurs plans inclinés contigus, dont les pentes vont toujours en décroissant vers la mer. — Le magnifique Rio de la Plata porte si tranquillement la masse de ses eaux à l'Océan, qu'on voit dans le Paraguay, à plus de 400 lieues de son embouchure, des vaisseaux qui ont remonté le courant à la voile : c'est-à-dire que l'action modérée du vent a suffi pour les élever, avec leur charge, sur le plan incliné du fleuve, jusqu'à la hauteur de nos plus hauts édifices.

Un petit lac, un étang dont le fond serait très-inégal, et qu'on déchargerait brusquement de ses eaux par une ouverture pratiquée dans la partie la moins élevée de ce fond, découvrirait une infinité de petites flaques d'eau de formes et de grandeurs très-variées parmi les inégalités de sa surface. — Si les pluies venaient ensuite à tomber, si elles se renouvelaient fréquemment, on verrait des changemens importans se manifester de jour en jour à cette surface. Les flaques les plus élevées se déchargeraient de leur trop plein dans les flaques inférieures; des petits filets d'eau courante s'établiraient entre les sommités et les profondeurs, et de petits canaux se dirigeant vers l'ouverture de l'étang, recevraient les eaux supérieures pour les porter, après plus ou moins de sinuosités autour des inégalités du terrain, à la décharge commune; les frottemens de l'eau sur les surfaces inondées entraîneraient sans cesse une partie du terrain qui les forme, de jour en jour les barrages qui retiendraient les eaux des flaques supérieures diminueraient donc de hauteur, et par conséquent la profondeur de ces flaques diminuerait aussi; le sable d'ailleurs, entraîné par les eaux pluviales, contribuerait aussi à cet effet en venant combler les profondeurs. — Bientôt toutes les petites flaques auraient disparu pour faire place à des canaux ramifiés qui sillonneraient les ondulations du terrain, et se rendraient enfin à l'ouverture commune. — Dans le cas actuel comme dans tout autre, chaque cours d'eau tendrait à prendre des dimensions et une descente uniforme; on sent en effet que le sable et la vase remplissent continuellement les cavités, et qu'ils s'y déposent d'autant plus facilement que le courant est moins rapide, c'est-à-dire que la profondeur est plus grande, tandis que, d'un autre côté, les élévations sont continuellement minées par le courant,

qui est toujours plus rapide lorsque l'eau est moins profonde relativement à la largeur de son cours.

Le paragraphe précédent est le tableau en miniature de ce qui s'est passé à la surface du globe terrestre depuis le bouleversement général auquel les historiens sacrés donnent quatre mille années de date. — Ce phénomène, si bien décrit par Dubuat dans ses principes d'hydraulique, a reçu son accomplissement dans quelques parties du monde, il s'opère graduellement et de jour en jour dans les autres. « La surface des terres hautes, dit-il, ou élevées au-dessus du niveau des mers change continuellement, et le sol sur lequel nous marchons aujourd'hui n'est pas celui que nos pères foulaient aux pieds. — Les pluies du ciel entraînent dans les vallons ou précipitent dans les torrens une partie de la terre qui couvre les hauteurs et les côteaux; les torrens charient ce limon dans les rivières, les rivières dans les fleuves, et enfin les fleuves dans la mer, où cette graisse de la terre, absorbée et engloutie par les eaux, est perdue pour la végétation. Ainsi les collines s'abaissent, les vallées se comblent, les montagnes découvrent le roc de leurs entrailles; et les terrains bas, relevés et nourris pour quelque temps de la substance des terres hautes, iront à leur tour, mais plus tard, s'abîmer dans l'Océan. — La terre alors, réduite à un niveau effrayant, ne présentera plus dans l'avenir qu'un marais immense et inhabitable, et si nous sommes encore éloignés du terme où arrivera cette catastrophe, que le travail de tout le genre humain à la fois ne peut empêcher, nous n'en sommes redevables qu'au peu d'antiquité du monde, qui ne vieillit que par des degrés lents, mais à la nature duquel il répugne d'avoir toujours été ou de devoir être toujours. La surface de la terre n'avait donc point dans ces temps reculés, comme de nos jours, ces grands

canaux, ces vastes décharges toujours prêtes à écouler les eaux de pluie, que l'aridité de la terre n'absorbe qu'en partie; et nourries en tout temps, quoique moins abondamment, des sources d'eau pure qui coulent du pied des montagnes, les rivières, les fleuves n'existaient pas encore ou n'étaient tout au plus que des torrens, dont l'eau rassemblée dans les vallons cherchait une issue pour s'échapper. De là naissait une multitude de lacs dans l'intérieur des continens, tels qu'on en voit encore plusieurs dans l'Amérique septentrionale : les plus éloignés de la mer, ne pouvant plus contenir leurs eaux, reversaient par un trop plein dans les bassins inférieurs, ceux-ci, à leur tour, se versaient dans d'autres, et ainsi de suite, jusqu'aux derniers qui avoisinaient la mer. La communication d'un bassin à l'autre était ouverte par un courant plus ou moins rapide; et le sol déchiré par ce courant, présentait l'ébauche d'un lit qui s'approfondissait de plus : mais les eaux de plusieurs bassins réunies, et coulant ensemble en grand volume, devaient avoir, à pentes égales, beaucoup plus de vitesse et de violence que celles des bassins reculés dans les terres; et la somme de tous les courans réunis dans le bassin le plus voisin de la mer, après avoir surmonté et rompu sa digue naturelle, devait former un torrent prodigieux qui creusait un lit d'autant plus profond, que l'eau avait plus de masse et plus de pente. » — Ces grands effets n'ont eu pour cause que la *tendance des liquides à se mettre de niveau.*

L'œil du philosophe éclairé découvre partout aujourd'hui les traces profondes de ces bouleversemens, documens imposans et sans cesse renouvelés de la longue histoire de la nature. Tel est, en Europe, l'espace qui comprend la contrée nommée Bohême, c'est le fond de l'un de ces grands lacs qui couvrirent autrefois le vieux

continent. La circonscription naturelle de ce bassin est si fortement indiquée par les crêtes circulaires des montagnes qui le limitent, qu'il est impossible de s'y méprendre; une seule ouverture s'est formée, graduellement sans doute, pour laisser échapper les eaux qui n'avaient point d'issue; à mesure que le fond s'est découvert par l'abaissement de la masse liquide, par la naissance de cours d'eau réguliers, se dirigeant des sommités vers les profondeurs, le lac s'est converti en un pays fertile qui est devenu l'habitation de l'homme, et les eaux pluviales, après avoir arrosé sa surface, se réunissent aujourd'hui pour former cette magnifique rivière que nous appelons l'Elbe. — En Asie, l'espace où est bâtie la ville de *Cachemire* est enveloppé de hautes montagnes desquelles s'échappent le *Behut*, affluent oriental du Suid.

En Suisse, la plupart des charmantes vallées que le voyageur y parcourt avec tant de plaisir, n'étaient autrefois que des lacs; et même aujourd'hui l'issue que se sont formée les eaux est encore si étroite, qu'une masse de neige ou de glace qui vient obstruer le passage suffit, comme cela eut lieu il y a quelques années, pour rendre bientôt la vallée à sa première destination, tant est rapide l'accumulation des eaux. Les craintes que l'on avait conçues pour les vallées inférieures dans le cas où l'obstacle qui retenait les eaux viendrait à céder subitement, n'étaient que trop fondées, on employa tous les moyens pour les faire écouler graduellement; mais tout fut inutile, et l'effroyable torrent bondit bientôt sur les parties inférieures, et les confondit dans une ruine commune.

Le Danube est lui-même l'égoût d'une chaîne de bassins ou lacs qui se sont déversés autrefois les uns dans les autres, et le courant, par sa rapidité continue, s'est frayé un passage assez peu élevé pour vider enfin tous ces lacs et les convertir en pays fertiles habités par des

hommes civilisés, qui se trouvent ainsi avoir remplacé les poissons, autrefois souverains maîtres de ces domaines. — Ce travail des eaux se poursuit encore dans tous les lacs de la terre; celui de Genève, par exemple, bien que circonscrit par des masses de granit, mine et abaisse continuellement sa sortie; sa surface s'est considérablement abaissée depuis l'origine des observations faites avec soin; d'un autre côté, les débris des montagnes environnantes, entraînés par les torrens, remplissent continuellement son lit, et si l'existence de la ville de Genève est d'assez longue durée, le habitans parleront de la rivière qui baigne leurs murs, et les délices de ce lac enchanteur, qui fait aujourd'hui leur gloire, cesseront d'être chantées par tous les voyageurs dans ce charmant pays. Déjà les villes et les villages qui se trouvaient, il y a cent ans, sur les bords de ce lac majestueux, ont hérité de terrains abandonnés par la masse des eaux, et des champs et des jardins les séparent aujourd'hui de la rive.

C'est une observation intéressante que celle du contraste entre les eaux pures et bleuâtres du Rhône à la sortie du lac de Genève, et celles des courans limoneux qui viennent y affluer un peu au-dessous. Cet effet pourrait s'expliquer ainsi : les torrens qui se rendent au lac du sommet des montagnes, et tout chargés de leurs débris, les déposent dans son sein tranquille, et les eaux pures de sa surface s'en échappent seules pour former le fleuve, tandis que les courans qui se rendent directement au Rhône depuis les Alpes, où ils ont pris naissance, y apportent toute la vase dont rien ne les a déchargés dans leur cours, ce qui fait que leurs eaux bourbeuses se distinguent encore long-temps des siennes au-dessous du point de jonction. C'est cette vase, ce limon qui remplit graduellement la cavité des lacs, qui a formé

ces vastes plaines qu'on remarque à l'embouchure de presque tous les grands fleuves.

Il existe quelques lacs à la surface de la terre, dont les eaux n'ont aucune issue; les cours d'eau qui s'y rendent répandent leurs eaux sur une surface tellement grande, que l'évaporation enlève journellement une masse de liquide à peu près égale à celle qui afflue. — De tels lacs ne peuvent avoir que des eaux salées, car toutes les substances que les eaux pluviales ont pu dissoudre sur la pente des terrains qui les circonscrivent, y sont portées par les cours d'eau qu'elles alimentent, et ne peuvent plus s'en échapper. La plus grande partie des lacs de la terre, cependant, se déchargent constamment d'un côté au moins dans la mer, et c'est ce qui fait que leurs eaux, originairement salées lorsqu'ils n'avaient aucune issue, perdent de jour en jour de leur âcreté première. Cela se conçoit facilement, si l'on réfléchit qu'alimentés par les eaux pluviales et par les cours d'eau qui eux-mêmes les reçoivent, il s'y introduit perpétuellement des eaux pures pour remplacer celles qui s'échappent par l'ouverture, et qui emportent sans cesse une partie des substances dissoutes dans la masse première. C'est ainsi que la surface terrestre, dans quelques parties, s'est trouvée, en quelque sorte, lavée de ses impuretés, que des eaux douces et pures, propres à tous les usages de l'homme, ont remplacé les eaux saumâtres qui se sont rendues dans le grand Océan, dépôt universel des substances salines qui recouvrent la surface de la terre. — La ville de Mexico occupe le centre de l'une des plus magnifiques plaines de la terre, à 2300 mètres environ au-dessus du niveau de la mer; elle est toute entourée de montagnes dont quelques-unes couvertes de neige au sommet. L'un des côtés de la plaine, un peu moins élevé que l'autre, forme le lit d'un

lac dont l'eau est salée par les causes que nous avons développées ci-dessus ; mais ces eaux perdent tous les jours de leur âcreté, car ce lac a aujourd'hui une issue. Il y a environ 150 ans que, pour se mettre à l'abri des inondations que la saison pluvieuse et la fonte des neiges avaient amenées dans cette ville, les Espagnols percèrent dans la paroi septentrionale de la vallée, à dix-huit lieues environ de Mexico, un canal souterrain par lequel le trop plein se décharge sur les contrées inférieures. Ce canal, qui creuse de plus en plus la profondeur de son lit, abaisse aussi de jour en jour les eaux du lac en les purifiant, et les vastes marais salés qui entouraient autrefois la cité, se convertissent en campagnes riantes et fertiles.

L'immense continent de l'Australasie, ou nouvelle Hollande, que ses singulières productions végétales ou animales font regarder comme de formation comparativement récente, n'est encore, dans une grande partie de sa surface, qu'un vaste marais fort imparfaitement desséché, dans lequel les eaux s'écoulent cependant, mais n'ont point encore creusé leur lit assez profondément, et ne se rendent que lentement à l'Océan par leurs étroites issues.

Lorsque le sol sur lequel les eaux ont à s'écouler offre une grande résistance, lorsqu'il refuse de se laisser entamer, sa surface présente alors des irrégularités singulières. L'Amérique septentrionale est fertile en exemples de ce genre ; on y remarque de grandes lignes de lacs, des torrens d'une rapidité effrayante ; — ceux que présente le fleuve Saint-Laurent, par exemple, et parmi lesquels on doit placer au premier rang cette épouvantable cascade du Niagara, où le fleuve, sur une largeur de 350 toises, qui n'est interrompue que par une petite île, tombe de la hauteur de 144 pieds. Une barrière

moins solide que le roc sur lequel le fleuve déroule ses eaux se trouverait bientôt coupée, et les lacs dans toute la ligne se déverseraient par cette immense ouverture.

Ce n'est point sans une sorte de frayeur qu'on réfléchit sur cette tendance des liquides à prendre leur niveau, et sur leur action perpétuelle contre les parties solides de la surface terrestre, car on arrive à cette conséquence irrésistible sur laquelle il est impossible de ne point s'arrêter, que ce séjour de l'homme, avec toutes ses beautés, livre journellement à la mer une partie de la substance qui le forme : ses jours sont comptés; il faut qu'à la longue il s'abîme par les causes mêmes qui l'ont fait ce qu'il est aujourd'hui. Point de pluie qui ne porte dans les profondeurs de l'Océan quelques parcelles des montagnes et des plaines; à moins donc que quelques nouvelles convulsions n'arrêtent cette lente et continuelle dévastation, à moins que l'art ne parvienne à retenir l'Océan dans ses limites, un déluge graduel doit dans la suite des siècles ensevelir le globe.

Il n'y a peut-être point d'exemple plus remarquable de l'accord constant des grandes lois de la science avec les phénomènes de la nature, que les mouvemens de la surface de l'Océan. La mer vient-elle à s'élever ou à se déprimer même d'un seul pouce, c'est qu'elle obéit à des lois fixes, connues, et les changemens qui paraissent s'éloigner des lois générales ont été prévus et calculés d'avance. Ainsi, ces huit mètres de différence de niveau que présente la mer Rouge, sont l'effet des vents de l'Est qui chassent les eaux contre la côte d'Afrique; ainsi, cette dépression de la Méditerranée est l'effet de l'évaporation qui a lieu à sa surface, et dont la quantité dépasse celle des eaux que lui portent les rivières qui y débouchent; ainsi s'explique encore l'alimentation qu'elle reçoit constamment par le détroit de Gibraltar.

Tous ces effets sont aussi constans que les causes perturbatrices, et on peut avec confiance les soumettre au calcul.

Combien serait précaire le sort des habitans des bords de l'Océan et des rives peu élevées au-dessus du niveau général, si ce niveau n'était point aussi parfait, ou si l'action des causes perturbatrices n'était point calculée d'avance. Les habitans de Londres, par exemple, ne se doutent point, la plupart, en se promenant tranquillement sur les rives du fleuve majestueux qui baigne leurs murs, qu'à 18 lieues de la mer ils se trouvent presque au niveau du pont supérieur des navires qui croisent dans la Manche, et qu'au moment où le courant rapide repousse la masse des eaux jusque dans l'intérieur des terres, à travers les arches de leurs ponts magnifiques, les vagues s'élèvent presque à la hauteur de leur tête, portant peut-être les débris d'un naufrage, et engloutissant de malheureux matelots.

On peut prendre une idée des affreux résultats qui seraient la suite de la plus légère altération dans le niveau de l'Océan, par les déluges partiels qu'occasionent dans l'intérieur des terres les pluies extraordinaires ou la fonte des neiges, ou par ce qui arrive sur les côtes lorsque le vent vient ajouter son action aux marées d'équinoxe. L'inondation de St-Pétersbourg, en 1825, est un des terribles effets de ce genre; des vents d'ouest d'une force extraordinaire retardèrent assez l'écoulement de la Néva pour que le niveau de ses eaux s'élevât de plus de trente pieds au-dessus des hautes eaux; toute la partie basse de la ville fut complètement inondée, et des milliers d'habitans furent victimes de cette imposante catastrophe.

Dans la Hollande, pays plat, comme on le sait, formé principalement de la vase et des atterrissemens

du Rhin et des rivières qui l'avoisinent, une grande partie de la surface du pays se trouve réellement au-dessous du niveau des grandes marées des syzygies, et l'on n'a d'autres remparts contre les inondations de l'Océan, que des digues artificielles. Dans quelle affreuse incertitude se trouverait placé tout ce pays industrieux, si le niveau de la mer n'avait point ses limites constantes ;— si ce niveau, que nous savons être de cinq lieues environ plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, en vertu de la force centrifuge de la terre, venait à s'abaisser subitement de dix pieds seulement, que de milliers d'hommes deviendraient les victimes d'une telle révolution !

Là où les inondations sont périodiques et régulières, comme celles du Nil par exemple, il est facile de se mettre en garde contre leurs terribles résultats; l'homme est même parvenu à les mettre à profit; il a changé ces causes de dévastation en moyens de fertilité.

Les grandes plaines qui bordent la rive des fleuves, et dont l'élévation, excédant le niveau du jusan, est inférieure cependant à celui du flot, peuvent être inondées ou desséchées à volonté, au moyen de digues et d'écluses construites le long des rives. On conçoit qu'il suffit, dans le premier cas, d'ouvrir les écluses pendant le flot ou les hautes eaux, et de les fermer, au contraire, pendant le jusan ; c'est l'inverse dans le second cas. De semblables constructions se rencontrent à l'embouchure d'un grand nombre de rivières dans l'Inde et dans la Chine. Les vastes plaines qui avoisinent ces embouchures sont presque toutes abandonnées à la culture du riz, et les eaux y sont admises ou exclues selon l'âge et le degré de maturité de la plante.

Lorsque plusieurs vases communiquent entre eux, quels que soient leur nombre, leur forme, leur grandeur, ou leur position, si c'est un même fluide qu'on y introduit, il prend le même niveau dans tous. (Voyez l'*Analyse*, page 1.)

La figure 7 montre ces tubes et vaisseaux de formes et de grandeurs très-diverses, fixés sur une cuve *G* avec laquelle ils sont tous en communication par leurs fonds. Vient-on à verser de l'eau dans l'un de ces vases, on voit le niveau s'élever en même temps dans chacun d'eux à la même hauteur, dès que la cuve est remplie. Les lignes ponctuées de *a* en *f* représentent ce niveau. La figure 1 nous a servi à montrer que, dans tous les vases cylindriques verticaux, comme *a*, *b*, *c*, le fluide devait s'élever au même niveau; nous avons aussi montré, figure 5, que la forme des vases ne causait aucune différence. On peut s'expliquer ici comment le tube oblique *c*, qui contient évidemment plus d'eau que le tube *a*, ne presse cependant le fond qu'avec une force égale à celle du premier: c'est qu'une partie de la pression de la liqueur est détruite par sa paroi oblique, comme elle le serait par un plan incliné.

S'il était possible de construire un tube de vingt lieues de développement, et de le contourner de manière à lui faire suivre toutes les inégalités de la surface d'un terrain; s'il était possible, enfin, d'en rapprocher les deux extrémités pour les comparer après qu'on aurait rempli le tube avec un liquide quelconque, on trouverait ce liquide parfaitement de niveau dans l'une et l'autre branches; et pour peu qu'on élevât l'une des branches, le liquide s'y abaisserait immédiatement pour s'élever dans l'autre, de manière à toujours conserver le niveau.

On a construit sur ce principe un instrument fort

commode et fort souvent employé, auquel on a donné le nom de *niveau d'eau* (*fig.* 8). C'est un tube de fer-blanc ou de laiton, d'environ trois à quatre pieds, et recourbé aux deux bouts, où l'on ajuste deux fioles parallèles de verre; l'eau qu'on verse dans ce tuyau maintenu à peu près horizontal, s'élève et apparaît dans les deux fioles; il est clair que le rayon visuel qui rase la surface du liquide dans ces fioles, détermine la direction d'une ligne horizontale; vers le milieu de la longueur du tube, on soude une douille propre à recevoir un pied à trois branches. On peut ainsi fixer l'instrument où l'on veut, et disposer le pivot presque verticalement, même sur les terrains en pente rapide.

Deux lacs situés sur des collines, même très-distantes l'une de l'autre, et qu'on mettrait ainsi en communication au moyen d'un conduit qui suivrait la pente de la vallée qui les séparerait, prendraient bientôt le même niveau, de sorte que si l'un des deux était plus élevé que l'autre, il se déverserait dans le second.

L'un de ces faiseurs de projets mécaniques, comme on en rencontre dans nos salons, avait rêvé un jour qu'il avait résolu le célèbre problème du *mouvement perpétuel;* il fit construire un vase de la forme représentée par la figure 9. Ce vaisseau, d'abord d'une grande capacité à son ouverture *a*, allait en se rétrécissant, et se terminait par un tube recourbé *cb*, dont l'extrémité se relevait au-dessus de l'orifice du vase. Voici comment il raisonnait : mon vase contient une livre d'eau, le tube ne pourra en contenir qu'une once, et comme une livre pèse seize fois autant qu'une once, la grande masse va nécessairement vaincre la petite, l'eau s'élèvera donc dans mon tube, retombera dans le vase en vertu de sa pesanteur; ce qui aura lieu dans le premier instant, aura lieu encore dans le second, puisque toutes les con-

ditions restent les mêmes, aura lieu dans le troisième, aura toujours lieu enfin, et voilà le *mouvement perpétuel* trouvé, abstraction faite toutefois de l'évaporation, ajouta-t-il; car il était physicien. Jugez de sa surprise, lorsqu'il vit que le maudit liquide ne voulait plus remonter au-dessus de son niveau.

Un tube de verre qu'on introduirait ainsi dans le fond d'un tonneau ouvert ou d'un réservoir, et qu'on recourberait ensuite pour le relever de bas en haut, suivant une inclinaison quelconque d'ailleurs, indiquerait constamment l'élévation du niveau de la grande masse liquide.

Ainsi, si l'on établissait de la même manière une communication entre un fleuve et une cave située même à une grande distance de la rive, au moyen d'un tube recourbé, le niveau du tube indiquerait toujours celui de la rivière.

C'est sur cette propriété des fluides de prendre toujours leur niveau, qu'est fondé l'art de distribuer les eaux dans les grandes villes, au moyen d'un système de tuyaux de fonte qui se ramifient dans toutes leurs parties : on amène l'eau jusqu'à un réservoir qui domine, par sa hauteur, tous les lieux où elle doit se distribuer; ces réservoirs sont quelquefois situés hors de la ville. Ce travail une fois achevé, la gravité fait tout le reste, et l'eau va remplir tous les réservoirs situés au-dessous du premier; elle descend dans les lieux profonds, remonte sur le flanc des côteaux, et arrive enfin à sa destination.

Sur la colline au nord de Londres, où s'élève le village de Pentonville, il existe un réservoir alimenté par un canal de neuf lieues de longueur, nommé la *nouvelle rivière*, et qui lui apporte les eaux du comté de Hertford. On a encore construit tout récemment un autre réservoir sur la colline de Primrose; il est plus élevé que la plus haute maison de Londres, disposition extrêmement heu-

reuse et de la plus grande utilité dans les incendies. On le remplit à l'aide de machines à vapeur situées à Hammersmith, à plus d'une lieue de distance.

Le mode de distribution des eaux adopté par les anciens, les ruines de leurs aqueducs, avaient fait penser qu'ils ignoraient cette propriété des fluides de remonter à leur niveau; on a reconnu depuis que ce n'était point l'ignorance de ce principe, mais le défaut de matériaux convenables qui leur avaient fait entreprendre les immenses travaux dont nous voyons les restes aujourd'hui, et qu'on peut comparer, pour la grandeur, au grand mur de la Chine et aux pyramides d'Egypte. L'aqueduc de Spolette, par exemple, le mieux conservé de toute l'Italie, fondé sur le roc dans le fond d'un abîme, s'élève à la hauteur de cent cinq toises pour joindre ensemble deux montagnes voisines. Cet aqueduc, qui subsiste encore dans son entier depuis tant de siècles, est l'ouvrage le plus hardi et le plus élevé qu'on connaisse dans le monde, car la plus haute pyramide d'Egypte n'a que six cents pieds de hauteur. On trouve des restes d'aqueducs beaucoup moins importans dans un très-grand nombre de villes, entre autres à Fréjus, à Nîmes, à Aix, à Lyon, à Metz, à Paris. On découvre en effet dans cette dernière ville, en haut de la rue Saint-Jacques, des canaux de l'ancien aqueduc d'Arcueil, construit, à ce que l'on croit, par les ordres de Julien, pour porter des eaux au palais des Thermes, que ce prince habitait. Quelque magnificence qu'on remarque dans ces imposans travaux, l'art de conduire les eaux et de les distribuer, est beaucoup plus avancé aujourd'hui, et un simple tuyau de fonte remplace avec avantage même ces constructions monumentales.

Depuis qu'on a fait servir la machine à vapeur à l'alimentation des eaux, pour l'usage des grandes villes,

l'art de les distribuer s'est rapproché du travail même de la nature dans le phénomène de la circulation. Comme les artères, quelques tuyaux partent du grand réservoir pour amener les eaux au centre des principales divisions de la ville; là, ces tuyaux se ramifient en une infinité d'autres qui vont parcourant toutes les rues, et ceux-ci se divisent encore pour porter dans chaque maison une substance si nécessaire à la vie. — Un système correspondant d'égouts et de canaux de décharge, construits suivant toutes les lois de la science, reportent ces eaux dans le grand laboratoire de l'Océan pour les y purifier, lorsqu'elles ont servi à tous les usages domestiques. Ce double système est si parfait et si complet aujourd'hui, qu'une heure après la pluie, les eaux du ciel, après avoir lavé et purifié les rues de la ville, après avoir balayé en quelque sorte tous les conduits souterrains, peuvent être de nouveau reprises dans le fleuve, où elles se rendent avec tant de rapidité. C'est la fréquence de ce phénomène merveilleux et presque instantané de parfaite purification, qui a converti l'une des plus grandes villes du monde en un séjour aussi sain qu'agréable.

L'habitant de la Grande-Bretagne s'est si bien habitué à cette surabondance d'eau pure, qu'il en attend le retour périodique avec autant de confiance que le jour lui-même, que les fleurs du printemps ou les fruits de l'automne. Un coup-d'œil sur les temps passés, peut seul réveiller en lui le sentiment de profonde reconnaissance dont il doit être pénétré pour les arts utiles, source primitive du bonheur dont il jouit presque à son insu. A combien de maladies pestilentielles cependant le défaut d'eau n'exposa-t-il point ses ancêtres, et combien de villes devinrent la proie des flammes tant qu'on ne put parvenir à faire circuler dans leur sein cet utile aliment. — Les honneurs divins furent accordés aux rois

qui, les premiers, conduisirent, au moyen d'aqueducs, l'eau des montagnes au milieu des villes populeuses de leur empire.

La distribution des eaux suit de près la civilisation d'un peuple, car la propreté est un des premiers besoins de l'homme dans l'état social; aussi n'est-ce que quatre cents ans après la fondation de Rome que les maîtres du monde entreprirent ces sortes de travaux. Les cloaques furent un de leurs premiers travaux en ce genre; ils peuvent être comptés parmi les merveilles de cette reine du monde; ils s'étendaient sous toute la ville, se subdivisaient en plusieurs branches, et allaient se décharger dans la rivière : c'étaient, à cette époque où la fonte ne pouvait être employée, de grandes et hautes voûtes solidement bâties, sous lesquelles on allait en bateaux; ce qui a fait dire à Pline que la ville était suspendue en l'air et qu'on naviguait sous les maisons; d'espace en espace des trous avaient été pratiqués dans le pavé des rues : c'est par ces trous qu'on jetait les immondices, ce qui conservait toujours la ville dans un état de très-grande propreté.

Celui qui a parcouru les plaines sablonneuses de l'Asie ou de l'Afrique, là où une source d'eau pure est mille fois plus estimée que toutes les mines d'or de la terre; celui qui, durant une longue navigation, a vu distribuer l'eau fraîche avec plus de précaution et d'économie que les produits les plus précieux de l'alambic; celui qui, malheureux naufragé, a recueilli dans ses vêtemens étendus la pluie bienfaisante des cieux, qui a pressé contre ses lèvres brûlantes ces vêtemens humides, celui-là peut apprécier le bonheur dont jouissent nonchalamment ceux qui, à toute heure de jour ou de la nuit, peuvent se procurer, sans autre fatigue que celle de tourner un robinet, un liquide aussi précieux. L'auteur de cet

ouvrage n'oubliera de sa vie le profond sentiment de douleur et de regret que lui fit éprouver, après plusieurs mois d'une navigation hasardeuse, la vue d'un courant d'eau fraîche se précipitant dans la mer du sommet d'un roc situé sur une côte délicieuse de fraîcheur et de verdure; il lui sembla d'abord que la plus précieuse des essences s'échappait en pure perte du vase que ses indolens possesseurs avaient négligé de fermer.

L'examen des effets de cette tendance des fluides à prendre leur niveau, nous conduit naturellement à parler des sources, des puits dits *artésiens*, et de l'art de forer la terre.

L'eau qui tombe des hauteurs de l'atmosphère, ou s'écoule directement dans les rivières sur la pente des terrains qui refusent de l'admettre, ou s'enfonce dans les terres poreuses pour en sortir plus bas sous la forme de source. Si la source coule au-dessous du fond de la masse poreuse qui l'alimente, c'est-à-dire à la surface des couches d'argile imperméable, ou des rocs durs et résistans, qui forment en quelque sorte la charpente de la terre, elle tend à dessécher toute la masse située au-dessus d'elle; s'il n'en est pas ainsi, l'eau s'élève à un certain niveau, dans les interstices de cette terre poreuse, comme elle pourrait le faire, par exemple, dans un fossé rempli de pierres mal jointes. Si l'on y creuse un trou au-dessous du niveau de l'eau, elle ne tarde point à le remplir jusqu'à la hauteur de ce niveau, et voilà un puits tout formé. Dans un grand nombre de lieux, le niveau des eaux souterraines est profondément enfoncé; dans quelques autres, l'eau trouve un écoulement facile vers la mer, ou bien le sol est presque imperméable : la profondeur à laquelle il faudrait creuser est dès lors inaccessible pour nos moyens limités.

La surface générale du globe se compose de différentes couches, d'argile, de craie, de sable, de gravier, etc., etc., qui paraissent avoir été autrefois horizontales et complètement submergées par les eaux, mais dont il semble que quelque grande convulsion de la nature ait altéré le niveau pour leur donner les formes très-variées qu'elles présentent aujourd'hui : dans certaines localités, la couche supérieure est concave; elle a pris à peu près la forme intérieure d'une coupe ou d'un bassin ; les différentes couches imperméables à l'eau, forment alors un système semblable à celui que présenterait un certain nombre de coupes placées les unes dans les autres. Si l'on suppose que les intervalles laissés entre les bassins soient remplis de liquide jusqu'à la hauteur de leurs bords, il est clair qu'en perçant le fond du premier bassin, par exemple, l'eau jaillira de bas en haut jusqu'à la hauteur de sa source; il en serait de même évidemment du second et du troisième bassin. Or, c'est ainsi que dans les puits connus sous le nom de *puits artésiens*, l'eau s'élève au-dessus de la surface du sol, lorsqu'au moyen de la sonde on a percé les bassins imperméables qui la retenait. Londres est située dans un bassin d'argile, superposé à une couche de craie, qui a dans quelque partie plus de deux cent cinquante pieds d'épaisseur; lorsque la sonde a traversé cette dernière couche, l'eau s'élève souvent à une hauteur considérable au-dessus de la surface, ce qui montre qu'il existe quelque part une source, un niveau liquide plus élevé que le sol. C'est probablement les collines du comté de Surrey, parmi celles du nord de la ville, qui forment le réservoir de ces eaux. Les puits forés à l'aide de la sonde sont encore peu répandus à Paris ou dans ses environs.

Lorsque des fluides de nature différente et de pesanteur différente sous le même volume, agissent l'un sur

l'autre, au moyen des vases communiquans de la figure 10; lorsqu'il se trouve de l'eau, par exemple, dans l'une des branches du tube recourbé *bdc*, et de l'huile dans l'autre branche, les surfaces supérieures de ces liquides ne sont plus à la même hauteur dans chaque branche, mais le fluide plus léger a son niveau d'autant plus élevé au-dessus de celui du fluide plus lourd, que le premier sera plus léger que le second, ou, pour parler plus philosophiquement, les hauteurs au-dessus du point de jonction sont entre elles en raison inverse des densités des deux liquides. Ainsi, la colonne d'huile devrait avoir une hauteur *cd* pour balancer la colonne d'eau *wd*, et l'alcool, plus léger que l'huile, prendrait pour l'équilibre dans les deux branches une hauteur *ad*, tandis que le mercure, qui est environ quatorze fois aussi lourd que l'eau, sous le même volume, ne s'éleverait que jusqu'en *m*, pour produire le même effet. La forme, la dimension, la position des vases n'altéreraient en rien ce résultat, et les hauteurs seraient toujours en raison inverse des densités; on pourrait donc remplacer le tube *cd* par un vase de la forme indiquée par les lignes ponctuées, l'huile, l'alcool, le mercure, prendraient chacun, dans ce vase, la même hauteur que dans l'expérience précédente.

Le poids d'un corps plongé en tout ou en partie dans un fluide, est diminué du poids d'un volume de fluide égal à celui qu'il déplace par son immersion. — Ce corps éprouve des pressions dont la résultante est verticale, dirigée de bas en haut, et égale au poids du fluide qu'il déplace : cette résultante passe d'ailleurs par le centre de gravité du fluide déplacé.

Une vessie de la capacité d'une livre d'eau, et qu'on remplirait d'air, exigerait d'être pressée avec la force

d'une livre pour plonger entièrement dans l'eau. (Nous faisons ici abstraction du poids de l'air contenu, qui est fort peu de chose.) Si l'on pesait d'abord dans l'air un volume d'or égal à celui de cette vessie, on verrait que ce volume d'or, plongé dans le liquide, perdrait exactement une livre de son poids. Une substance quelconque, enfin, un morceau de bois, d'ivoire, etc., qui aurait toujours le même volume que celui de cette vessie, éprouverait en entrant dans le liquide une résistance précisément égale.

On peut facilement se rendre raison de ce phénomène, en remarquant que le corps plongé prend la place du volume d'eau qui pesait une livre, et cependant se trouvait supporté. Soit un vaisseau *a b*, figure 11, rempli d'eau jusqu'au niveau *fc*, et *cd* un des filets liquides de la masse; nous avons vu que ce filet était en équilibre, parce qu'il se trouvait poussé de bas en haut par les molécules situées immédiatement au-dessous de lui, avec une force précisément égale à son poids, qui agit lui de haut en bas : or, ce qui est vrai d'un filet liquide, est vrai aussi d'une réunion quelconque de filets; dès-lors ce que nous en avons dit s'applique aussi bien à la colonne *fhg*. Donc si le poids de cette colonne était d'une livre, sa surface inférieure serait poussée de bas en haut avec une force d'une livre, par la réunion des molécules environnantes soumises elles-mêmes à cette pression dans le même sens. Il est clair que si cette colonne, sans changer de forme ni de volume, venait à se solidifier, à se congeler, par exemple, tout se passerait de la même manière, c'est-à-dire qu'elle se trouverait toujours poussée de bas en haut avec la force d'une livre, et qu'enfin si l'on faisait occuper cette place à une colonne de bois, de pierre, de métal ou de toute autre substance, ayant absolument même forme et même vo-

lume, la *poussée* du fluide serait toujours la même. Il n'est pas moins évident que si la seule moitié gh de la colonne fhg se solidifiait, la base hg serait toujours poussée de bas en haut avec la force d'une livre; mais l'équilibre se maintiendrait cependant, puisque l'effet de la pression d'une livre sur la base serait anéanti par les poids réunis de la masse solide et de la masse liquide supérieure fh.

Comme il est extrêmement important d'avoir des notions très-claires sur cette doctrine, et que les différens esprits saisissent une vérité avec plus ou moins de facilité, suivant les faces sous lesquelles on la leur présente, nous allons essayer un autre mode d'exposition.

Considérons une masse fluide comme formée d'un nombre infini de petits filets contigus, dans lesquels chaque molécule résiste à la poussée de bas en haut du fluide, en vertu du poids de toutes celles qui sont placées au-dessus d'elle, et dont l'action s'exerce de haut en bas. Si l'on suppose qu'une portion quelconque de la masse, quelle que soit d'ailleurs sa forme, vienne à se convertir en glace, sans changer aucunement de poids ou de volume, cette portion solide va se trouver soumise aux mêmes forces que lorsqu'elle était à l'état liquide, et comme elle était d'abord au repos, elle persistera dans cet état. Or, les forces qui agissaient sur cette masse de glace ne varieraient point, si l'on substituait à sa place un même volume d'or, d'argent, de bois, de verre ou de toute autre substance; et quelle que soit leur nature, elles se trouveraient toujours pressées de la même manière. Dès-lors, 1° si leur poids est exactement le même que celui de l'eau déplacée, elles n'auront pas plus de tendance à monter ou à descendre, que le volume d'eau qu'elles remplacent n'en aurait eu lui-même; 2° si la masse solide est plus lourde que le volume

d'eau déplacé, elle descendra dans le liquide; 3° si elle est plus légère, elle sera poussée de bas en haut, et ces deux derniers effets seront exactement d'autant plus grands que la différence, entre le poids de la masse solide et celui du volume de fluide déplacé, sera elle-même plus grande (1).

Cette vérité d'un accès si facile est restée ignorée pendant bien des siècles, et ce n'est qu'à l'un de ces génies puissans qui honorent la nature humaine, qu'on doit une découverte dont les heureux résultats sont incalculables. Voici comment Vitruve nous en a transmis l'histoire. Hiéron, roi de Syracuse, ayant heureusement terminé une affaire pour le succès de laquelle il avait fait vœu d'offrir aux dieux une couronne d'or, convint avec un ouvrier d'une grosse somme d'argent pour la façon, et lui donna l'or au poids. Cet ouvrier, au jour marqué, livra au roi sa couronne, lui en fit approuver le travail, et lui montra qu'elle était de poids en la mettant dans une balance. Cependant, lorsqu'on

---

(1) Soit Π la densité d'un corps,

π celle d'un fluide,

V le volume du corps,

v celui du fluide qu'il déplace par son immersion,

la poussée verticale du fluide de bas en haut $= \pi v$.

Or, il est clair que lorsque la droite, qui passe par les centres de gravité du corps et du fluide déplacé, est verticale,

Il y a équilibre si $\pi v = \Pi V$.

Le corps remonte quand on a $\pi v > \Pi V$,

Et la force qui le pousse de bas en haut $= \pi v - \Pi V$.

Le corps descend si l'on a $\pi v < \Pi V$,

Et la force qu'il faudrait employer pour l'empêcher de descendre, serait $= \Pi V - \pi v$.

(*Note du traducteur.*)

la soumit à l'épreuve de la pierre de touche, on reconnut que l'ouvrier avait ôté une partie de l'or pour mettre de l'argent à la place. Le roi, indigné, chercha d'abord dans son esprit quelque moyen de convaincre l'ouvrier de la valeur du vol qu'il avait osé lui faire; mais n'ayant pu y réussir, il pria *Archimède* de s'en occuper. Comme ce géomètre avait cette question dans la tête, il fut par hasard se baigner, et observa qu'à mesure qu'il plongeait son corps dans la baignoire, il en faisait sortir une plus grande quantité d'eau ; cette simple observation fut pour lui un trait de lumière : transporté de joie, il sortit du bain et prit tout nu le chemin de sa maison, criant à haute voix : Ευρηκα, Ευρηκα, je l'ai trouvé, je l'ai trouvé. Puis, sans perdre de temps, il fit faire deux masses de même poids que la couronne, l'une d'or, l'autre d'argent, et plongea, dans un vase plein d'eau jusqu'aux bords, la masse d'argent, qui en fit sortir un volume d'eau égal au sien ; retirant ensuite du vase cette masse d'argent, il le remplit de nouveau jusqu'aux bords, mesurant ce qu'il fallait d'eau pour cela : de cette manière, il connut exactement le volume d'un certain poids d'argent. De même il plongea la masse d'or dans le vase plein d'eau, et l'ayant retirée, il trouva que la quantité d'eau que l'or avait fait sortir du vase était d'autant plus petite, que, sous un même poids, l'or a moins de volume que l'argent. Enfin, laissant aller la couronne dans le vase plein jusqu'aux bords, il vit qu'elle faisait sortir plus d'eau que la masse d'or, et de l'excès de l'une de ces quantités sur l'autre, il jugea du rapport de l'argent à l'or dans la couronne, et convainquit ainsi l'ouvrier de la valeur du vol qu'il avait fait (1).

(1) Vitruve, chapitre III, livre IX.

Quoi qu'il en soit de cette anecdote, ce moyen de découvrir ce qu'on a appelé depuis le *poids spécifique* des corps, a fait faire aux arts d'immenses progrès. La doctrine des poids spécifiques est une des bases fondamentales de la chimie; elle classe les corps, les distingue les uns des autres, fait reconnaître leur degré de pureté, et éclaire partout l'analyse. La connaissance des poids spécifiques dirige le marchand dans la valeur relative de ce qu'il vend ou achète; elle permet encore de calculer promptement le volume exact d'un solide quelconque, quelque irrégulière que puisse être sa forme; enfin, elle est devenue une véritable source de perfectionnement dans la navigation, dans l'art des constructions navales, etc., etc.

Nous allons entrer dans quelques détails sur cette théorie importante.

La force avec laquelle un corps est maintenu dans un fluide étant précisément égale au poids du volume de fluide qu'il déplace, il paraît évident que cette force une fois connue, on obtiendrait, en la comparant avec le poids réel du corps, leurs poids comparés ou POIDS SPÉCIFIQUES. (Voy. *l'analyse.*)

Soit, figure 12, une balance portant sous un de ses plateaux *b* un crochet auquel est suspendu, par un fil de soie ou un cheveu, une substance quelconque *c*, que nous supposerons être de l'or. Mettons des poids suffisans dans le plateau *a*, nous obtiendrons bientôt l'équilibre. Cela fait, portons au-dessous de *b* un vase rempli d'eau, et soulevons ce vase au-dessous de la masse, de manière à l'immerger complètement, nous verrons que l'équilibre sera détruit; il semblera que la masse est repoussée de bas en haut, et la mesure de cette poussée

sera exactement le poids du liquide déplacé, car en mettant ce poids dans le plateau *b*, l'équilibre se rétablira immédiatement. Nous aurons donc le rapport du poids du corps et d'un pareil volume d'eau, en comparant les charges des deux bassins de la balance lorsque l'équilibre aura lieu. Supposons, par exemple, que la masse d'or de l'exemple ci-dessus perde, par son immersion, un 19e du poids qu'elle avait dans l'air, ou bien, en d'autres termes, qu'on ait été obligé, pour rétablir l'équilibre après l'immersion, de placer dans le bassin *b* une charge égale au 19e de celle du bassin *a*, qui avait produit l'équilibre avant l'immersion, il est évident que le poids de l'eau déplacé étant 1, et celui de la masse 19, sous le même volume, l'or sera 19 fois aussi lourd que l'eau, ou, comme on le dit, son poids spécifique sera 19.

Il était nécessaire, dans la détermination des poids spécifiques des différentes substances, de choisir une unité à laquelle on pût comparer toutes les autres; c'est à l'eau qu'on a donné la préférence, parce qu'outre qu'on peut lui donner facilement un grand degré de pureté, on la rencontre partout; lors donc que nous dirons que le poids spécifique de l'or est 19, que celui du cuivre est 8, que celui du liége est $\frac{1}{4}$, il faudra entendre que ces substances sont 19 fois, 10 fois, $\frac{1}{4}$ de fois aussi lourdes que leur volume d'eau pure portée à 3°.92 du thermomètre centigrade, température de son maximum de densité.

Les substances qu'on rencontre dans la nature n'ayant ni les mêmes formes ni les mêmes qualités, il a été nécessaire d'employer des méthodes différentes pour déterminer leurs poids spécifiques : nous présenterons ici celles qu'on emploie le plus généralement.

Corps solides insolubles dans l'eau et plus lourds que ce liquide; — métaux, etc., etc. On les suspend par un cheveu ou par un fil dont le poids spécifique se rapproche le plus possible de celui de l'eau, à un des bassins de la *balance hydrostatique* (dont la figure 12 donne une idée); on pèse le corps dans l'air, on l'immerge, il y a perte de poids; on rétablit l'équilibre en mettant un poids suffisant dans le bassin *b*, auquel il est suspendu; alors le poids dans l'air et la perte représentés par les poids placés dans chaque bassin, ne sont autre chose que les poids d'un même volume du solide et du liquide, et une simple *division* suffit pour faire connaître le poids spécifique du premier (1). Il est presque superflu de faire remarquer qu'il est indifférent, pour rétablir l'équilibre après l'immersion, de mettre un poids dans le bassin *b* ou d'ôter un poids équivalent du bassin *a*.

Solides plus légers que l'eau; — liége, etc., etc. On attache au corps plus léger un autre corps dont le poids spécifique est plus grand que celui de l'eau, de manière que le système puisse plonger dans le liquide. On pèse dans l'air et dans l'eau les corps réunis, et le plus dense séparément. On soustrait les poids dans l'air des poids dans l'eau, ce qui donne la perte produite par l'immersion; on retranche enfin le plus petit reste du plus grand : alors, la différence qu'on obtient est au poids

(1) Soit le poids du corps dans l'air $= P$,
Son poids dans l'eau $= p$,
La perte du poids, après l'immersion, sera $P - p = d$,
Et son poids spécifique s, celui de l'eau étant l'unité, sera

$$s = \frac{P}{P-p} = \frac{P}{d}.$$

(*Note du traducteur.*)

du corps léger dans l'air, comme le poids spécifique de l'eau est à celui du corps (1).

Solides solubles dans l'eau, sels cristallisés, etc., etc. On les protége contre l'action de l'eau en les recouvrant d'une légère couche de cire; il suffit pour cela de les y plonger pendant qu'elle est en fusion. Il est cependant préférable de déterminer d'abord leur densité par rapport à un liquide sans action sur ces substances, et dont on cherche ensuite la densité par rapport à l'eau, comme nous le verrons plus bas.

Poudres insolubles dans l'eau; — poudre d'or, etc. On les pèse dans une cupule de verre, dont on connaît le poids dans l'air et dans l'eau, et la règle de l'avant-dernier paragraphe donne le poids spécifique de la poudre.

---

(1) Soit le poids, dans l'air, du système $= C$.
Soit le poids dans l'eau . . . . . C',
La perte $= C - C'$.
Le poids, dans l'air, du corps dense . . H,
Son poids dans l'eau . . . . . H',
La perte de poids $= H - H'$.
Soit encore le poids, dans l'air, du corps plus léger que l'eau . . . . . L,
Le poids spécifique de l'eau . . . . . $= S$,
Celui du corps léger . . . . . S'; on a

$$S' = \frac{L\,S}{(C - C') - (H - H')}; \text{ et comme } S = 1,$$

$$S' = \frac{L}{(C - C') - (H - H'}.$$

Cette formule peut être employée pour le cas où, comme pour les poudres métalliques, on place la substance dans une cupule de verre dont H et H' sont les poids dans l'air et dans l'eau; mais alors on est quelquefois obligé de remplacer ce dénominateur $(C - C) - (H - H')$, par $(H - H') - (C - C')$.

(*Note du traducteur.*)

Les *poudres solubles dans l'eau* doivent être pesées dans un autre liquide. On doit au célèbre professeur de philosophie naturelle de l'université d'Edimbourg, M. Leslie, un nouveau moyen fort ingénieux de déterminer le poids spécifique des corps poreux ou en poudre; nous ne pourrons en parler que dans la mécanique des fluides aériformes ou *pneumatique*.

Le *poids spécifique des liquides* se détermine de plusieurs manières :

1° On emploie quelquefois un flacon auquel on fait donner une capacité telle, qu'il contienne tout juste mille centigrammes d'eau distillée à la température de 3°.92 centigrades; il suffit alors de le remplir du liquide dont on cherche le poids spécifique, et de le peser; on déduit de cette opération le poids absolu du liquide; comparant ensuite ce dernier poids avec celui de l'eau, on a le poids spécifique cherché. C'est ainsi, par exemple, qu'en emplissant un tel flacon d'acide sulfurique, on trouverait pour le poids absolu de l'acide contenu, 1900 centigrammes environ; rempli d'alcool, le poids de son contenu ne serait que 800 centigrammes, ce qui montrerait que le poids spécifique de l'eau étant 1000, ceux de l'acide et de l'alcool seraient 1900 et 800; — 2° on peut encore se servir d'une bulle de verre telle, qu'elle perde exactement mille centigrammes par l'immersion dans l'eau distillée (c'est le poids du volume d'eau qu'elle déplace); car lorsqu'on la plonge dans un autre liquide, la différence de perte de poids qui en résulte indique le poids spécifique, comme dans le dernier cas. Cette bulle pourrait, à la rigueur, avoir des dimensions quelconques; cependant il est préférable, pour la simplicité des calculs, qu'elle perde exactement, par l'immersion, le poids donné ci-dessus; — 3° enfin, on emploie

plus souvent encore un petit instrument appelé *aréomètre*, et qui remplace avec avantage les balances dont on faisait usage. Ce n'est autre choso (*fig.* 13) qu'une bulle de verre ou de métal *a*, surmontée d'une petite tige *d* qui supporte à son extrémité supérieure une cuvette *b*; de la partie inférieure de la bulle, part un autre fil qui retient une autre petite cuve *c*, dans laquelle on place des poids pour lester l'instrument pendant l'immersion. Le poids de l'instrument doit être tel que, quand on plonge celui-ci dans l'eau pour l'abandonner ensuite à lui-même, il s'y enfonce jusqu'à une petite marque tracée sur la tige supérieure. Il suffit de le plonger ensuite dans un autre liquide, et de noter les poids qu'on ajoute à ceux de la cuvette supérieure, ou qu'on ôte de la cuvette inférieure pour produire *l'affleurement* de la marque, l'on a alors le rapport des poids spécifiques. — Si l'on avait d'abord déterminé la différence de poids qui fait flotter l'instrument à différentes élévations, il suffirait de noter exactement cette élévation, pour avoir les poids spécifiques (1).

---

(1) S'il s'agit d'obtenir le poids spécifique de deux liquides, on peut employer la formule suivante:

Soit le poids de l'instrument . . . . . = a.
La charge qui produit l'affleurement dans le premier = l.
Le poids qu'il faut ajouter ou ôter pour produire l'affleurement dans le second liquide . . . . . = λ.
Le rapport R des poids spécifiques s'obtiendra par

$$R = \frac{a + l \pm \lambda}{a + l} = 1 \pm l \frac{\lambda}{a + l}.$$

Exemple: On demande le poids spécifique d'un liquide, celui de l'eau étant pris pour unité; l'aréomètre dont on fait usage pesait 45 grammes = a; il a fallu placer 11.54 grammes dans la cuvette supérieure pour produire l'affleurement dans l'eau, ce qui donne l = 11. 54, et il n'a fallu que 5.19 pour produire l'affleurement dans le liquide, c'est-à-dire qu'on a ôté 11.54 — 5.19 = 6.35 grammes; donc λ = 6.35

On accompagne presque toujours ces sortes d'instrumens de tables ou d'instructions propres à diriger dans leur emploi, et qui indiquent en même temps les corrections à faire pour la température, etc., etc. 4° la méthode la plus courte pour déterminer le poids spécifique des liquides, serait d'employer les *globules aréométriques de Wilson :* c'est une série de petites balles de verre creuses, différant l'une de l'autre quant au poids spécifique; si l'on en projette dans le liquide une certaine quantité, toutes celles qui sont plus lourdes tombent au fond; celles, au contraire, qui sont plus légères, remontent à la surface; on lit alors le poids spécifique du liquide sur celles qui y flottent à son intérieur, sans s'élever ni s'abaisser, car tous ces petites sphères portent un numéro.

---

remplaçant, dans la formule ci-dessus, les lettres par leur valeur dans le cas dont il s'agit, on a

$$R = \frac{45 + 11.54 - 6.35}{45 + 11.54.} = \frac{5019}{5654} = 0.8877.$$

tel est le poids spécifique de la liqueur proposée.

On peut employer cet instrument à la détermination du poids spécifique des solides, aussi bien que des liquides : pour cela on place un poids k dans la cuvette supérieure, pour produire l'affleurement dans l'eau ; on ôte ce poids et on y substitue le corps, plus le poids l nécessaire pour produire l'affleurement. Enfin, on place le corps dans le bassin inférieur, et l'on ajoute un poids m pour produire encore l'affleurement, on a pour le rapport R des poids spécifiques de l'eau et du solide,

$$R = \frac{k - l}{m - l}.$$

Si l'on emploie un autre liquide que l'eau, et que A soit le nombre qui représente la densité de ce liquide, on obtient le poids spécifique du corps, par rapport à l'eau, au moyen de

$$R = \frac{A\,(k - l)}{m - l}.$$

(*Note du traducteur.*)

Les aréomètres sont surtout employés à déterminer le poids spécifique des esprits, du rum, de l'eau-de-vie, etc., etc. Ces liqueurs contiennent une certaine quantité d'alcool plus ou moins étendue d'eau, que les aréomètres font connaître immédiatement; c'est cette quantité d'alcool, indiquée par l'aréomètre, qui règle la valeur des droits d'octroi.

Un marchand Chinois vendit un jour, sur un échantillon, à l'officier chargé de l'approvisionnement d'un vaisseau, une certaine quantité d'esprit distillé; le marché conclu, l'ignorant Chinois ne se fit point scrupule d'ajouter à sa marchandise, avant de la faire porter à bord, une bonne quantité d'eau pure, puis il fit transporter les barils sur le vaisseau. L'officier, en les recevant, prend son aréomètre, le plonge dans le liquide; mais quel est son étonnement de voir que l'esprit n'a point la force de l'échantillon. Il va trouver le marchand, lui reproche sa mauvaise foi; mais celui-ci, qui ne connaissait aucun moyen humain de découvrir une telle fraude, nie le fait et assure avoir livré ce qu'il avait promis. Cependant lorsqu'il entendit l'officier lui signaler la quantité d'eau exacte qu'il avait ajoutée, une terreur superstitieuse s'empara de lui, il avoua tout, et se trouva encore trop heureux de payer tous les dédommagemens qu'on lui demandait. On lui montra alors l'instrument accusateur, et on le fit opérer en sa présence; le pauvre marchand ne revenait point de sa surprise, il offrit à l'officier de lui payer cet instrument tout ce qu'il voudrait, prévoyant bien tous les services qu'il en pourrait tirer dans son commerce.

La densité des *substances aériformes* se détermine très-facilement. On pèse un ballon de huit à dix litres, d'abord privé d'air au moyen de la machine pneumatique, et successivement plein d'eau et de différens gaz, si l'on

rapporte la densité à celle de l'eau; on le remplirait d'air, si l'on voulait cette densité par rapport à celle de l'air. La comparaison des poids obtenus donne le poids spécifique des substances soumises à l'expérience (1).

La table suivante donne, en nombres ronds, les poids spécifiques de quelques substances, l'eau étant prise pour unité. Il serait d'autant plus inutile de l'étendre davantage, qu'on trouve dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes, une table fort étendue de ces poids, et que cet excellent *almanach* se trouve dans les mains de tous ceux qui cherchent dans ces sortes d'ouvrages autre chose que des prédictions sur la pluie, le beau temps ou les événemens politiques.

Platine	22 $\frac{1}{2}$.	Sel commun	2.
Or	19 $\frac{4}{5}$.	Brique	2.
Mercure	13 $\frac{1}{2}$.	Alcool	» $\frac{8}{10}$.
Cuivre	8 $\frac{3}{4}$.	Ether sulfurique	» $\frac{3}{4}$.
Fer et acier	8.	Liége	» $\frac{1}{4}$.
Diamant	3 $\frac{1}{2}$.	Air atmosphérique	» $\frac{1}{770}$.
Verre	3.	Gaz hydrogène	$\frac{1}{11000}$.
Pierres communes	2 $\frac{1}{2}$.		

Un litre ou décimètre cube d'eau pesant un kilogramme, et un centimètre cube pesant un gramme, ces tables donnent, par une simple multiplication, le poids

(1) Soit en effet p le poids du ballon vide, P le poids du ballon rempli d'air ou d'eau, $P - p$ sera le poids de l'air ou de l'eau contenue. La même expérience faite avec un autre gaz, donnera $P' - p$ pour le poids de ce gaz, et comme les densités sont proportionnelles aux poids sous le même volume, on aura pour la densité cherchée d,

$$d = \frac{P' - p}{P - p}.$$

Cette densité sera donnée par la formule par rapport à l'eau, si P est le poids du ballon rempli d'eau, ou par rapport à l'air si P est le poids du ballon rempli d'air.

(*Note du traducteur.*)

d'un volume quelconque des substances qu'elles renferment. Deux décimètres cubes d'or, par exemple, pèseront 2 × 19 kilogram. environ = 38 kil., et comme on sait d'ailleurs que le kilogramme d'or pur se paie 3444 fr., une autre multiplication donnerait la valeur de ces deux décimèt. cubes d'or, qu'on trouverait être de plus de 45,000 fr. — Un homme veut élever sur une voûte une construction quelconque en pierres de taille, construction dont il connaît les dimensions; il veut connaître le poids dont cette voûte sera chargée; il ouvre une table des poids spécifiques, il trouve pour la pierre de taillo 2.390; cela veut dire qu'à volume égal elle pèse 2.390, autant que l'eau. Or, il sait que le pied cube d'eau pèse 70 livres, donc le pied cube de pierre pèse 2.390 × 70 livres; c'est-à dire 167 livres environ. Multipliant cette valeur par le nombre do pieds cubes que donne le toisé de sa construction, il a son poids total exprimé en livres. On trouverait de même qu'un centimètre cube d'air pèse 0g.001283, son poids spécifique rapporté à celui de l'eau étant exactement $\frac{1}{779}$.

Les faits suivans sont autant d'exemples de cette vérité, qu'un corps plongé dans un fluide, perd une partie de son poids égale à celui du volume de fluide qu'il déplace.

Telle pierre que deux hommes soulèvent difficilement sur terre, peut n'exiger, pour être remuée, que la force d'un seul homme lorsqu'elle est entièrement plongée dans l'eau. — Il est donc certains cas où cette puissance de l'eau peut utilement remplacer un certain nombre de bras. — Les enfans qui s'amusent à retirer les pierres situées sur le bord des fleuves, s'étonnent toujours de la facilité avec laquelle ils les amènent à la surface de l'eau, et ne peuvent se rendre compte de l'impossibilité

où ils se trouvent souvent d'en supporter le poids lorsqu'elles ont quitté le liquide.

Cette ingénieuse invention moderne qui a reçu le nom de *cloche à plonger*, et qui permet à l'homme, dans ses constructions hydrauliques, de travailler presque aussi facilement dans les profondeurs de l'Océan, qu'à la surface de la terre, a été la source d'une infinité d'expériences de ce genre : les ouvriers qui descendent dans cette cloche pour la première fois, sont tout étonnés de la force extraordinaire dont ils jouissent et qu'ils ne se connaissaient point encore. En effet, ils manœuvrent facilement dans l'eau des pierres qu'ils n'auraient pas même essayé de soulever dans l'air. N'allez point croire, au moins, qu'ils aient tous reconnu la cause de ce phénomène. Il en est quelques-uns, sans doute, parmi eux, qui en ont entrevu la véritable cause; ceux, par exemple, qui ont quelques notions de mécanique ; mais il en est d'autres (des chimistes sans doute) qui s'imaginent que l'air plus dense de la cloche, qu'ils respirent, leur donne cette force herculéenne.

Lorsqu'à l'aide de cette machine on retire du fond des eaux toutes les parties de la cargaison d'un navire qui a sombré, les mêmes phénomènes se reproduisent, car tous les objets ont perdu une partie de leur poids, égale à celui du volume de liquide qu'ils déplacent.

Cette loi explique encore comment les pierres, le gravier et le sable, sont si facilement entraînés par les vagues et les courans. La masse du public s'étonna grandement de la nouvelle qui se répandit que la tempête de mars 1825 avait déplacé les blocs de pierre du brise-lames de Plymouth, dont quelques-unes pesaient plusieurs milliers ; il était facile de remarquer, cependant, que les eaux n'avaient à vaincre que la moitié environ du poids de ces énormes masses.

Lorsqu'on est placé dans un bain, tous les membres se trouvent si bien supportés par le liquide, qu'il ne faut développer presque aucune force musculaire pour les maintenir dans une position quelconque; mais si l'on se repose quelque temps dans ce plus doux de tous les lits, les bras, lorsqu'on en sort, semblent avoir augmenté de poids, et l'on ressent très-bion l'effort qu'il faut faire pour les maintenir plus ou moins tendus, effort qu'on ne remarque point dans toute autre circonstance. Les ouvriers qui descendent dans la cloche, éprouvent tous les jours cette sensation en revenant à l'air.

Le corps de la plus grande partie des poissons, a le même poids spécifique que l'eau qui les environne, et par conséquent ils flottent dans le liquide sans s'y élever ni s'y abaisser, à moins d'une action spéciale de leur part, sur laquelle nous reviendrons plus loin. Lorsque ces théories étaient moins bien comprises, bien des gens s'imaginaient que les poissons n'avaient point de poids. Une plaisanterie contre les philosophes, s'est même transmise, à ce sujet, jusqu'à nous. On rapporte qu'un roi consulta un jour les savans de son empire, pour savoir si les poissons avaient ou n'avaient point de poids dans l'eau: chacun d'eux, après s'être livré à de profondes réflexions sur cette question importante, en fit part à ses confrères; on discuta longuement, et l'on décida, enfin, que les poissons ne pesaient point, car aucun membre de ce conseil royal et scientifique ne s'était avisé d'en appeler à l'expérience, moyen vulgaire, en effet, et tout-à-fait indigne de sa haute capacité. Jugez de leur étonnement lorsqu'un homme simple, qui n'était point de leur illustre société, plaça dans un des plateaux d'une balance, un bassin d'eau qu'il équilibra d'abord avec des poids dans l'autre; puis jetant un poisson dans ce bassin d'eau, on vit monter l'autre bassin, et il fallut,

pour rétablir l'équilibre, remettre un poids précisément égal à celui du poisson.

Dans le sens ci-dessus, on dit que l'eau ne pèse point dans l'eau : la moindre force suffit, en effet, pour porter un seau plein du fond d'un puits au niveau du liquide; mais pour peu qu'on cherche à l'élever ensuite, le poids du seau devient de plus en plus sensible, à mesure que la partie immergée diminue.

Tout corps plus léger que le volume d'eau qu'il déplacerait s'il était immergé, éprouve une poussée de bas en haut proportionnelle à la différence du poids de ce volume d'eau et du corps. (Voyez l'*Analyse.*)

Il est facile de se rendre raison de ce théorême : soit un corps quelconque, un cylindre *abcd*, par exemple (*fig.* 18), plongeant en partie dans un fluide; nous savons que la pression de bas en haut exercée par le fluide sur la base *cd* du cylindre, est précisément égale au poids du volume *efcd* du liquide déplacé; le corps, pour rester dans la position où la figure le représente, devra donc avoir exactement le poids de l'eau déplacé; s'il était plus léger que ce volume d'eau, il serait repoussé de bas en haut avec une force équivalente à la différence qui existe entre le poids du fluide qu'il déplacerait, et le sien propre; s'il était plus lourd, il ne pourrait pas davantage conserver la position de la figure, il descendrait dans le liquide, comme tiré par une force qui équivaudrait encore à chaque instant à la différence entre son poids propre et celui du fluide déplacé. — On voit donc qu'un corps flottant est continuellement repoussé jusqu'à ce que la partie immergée ne déplace plus qu'un volume de fluide égal en poids à celui du corps tout entier.

Ainsi, une livre de matière prise dans un corps qui flotte à la surface de l'eau, déplace tout juste une livre

d'eau, que ce corps ait d'ailleurs la légèreté du liége ou la pesanteur du bois le plus dense. C'est ce dont on peut s'assurer par expérience : il suffit pour cela de remplir un vase d'eau jusqu'aux bords, et de placer à la surface du liquide un certain nombre de corps flottans dont on aura noté les poids; l'eau en effet débordera de tous côtés, et si l'on a le soin de la recueillir dans un second vase placé au-dessous du premier, on trouvera que le poids de cette quantité d'eau déplacée sera précisément égale à la somme des poids de tous les corps flottans à la surface du premier vase.

Ainsi, un bassin de porcelaine du poids de quatre onces, ne s'enfoncera ni plus ni moins dans un liquide, qu'un bassin de bois du même poids et de la même forme, ou qu'un bassin de bois de la même forme, mais du poids d'une once seulement, et dans l'intérieur duquel on introduirait un poids de trois onces.

Ainsi, un navire dont la coque serait en fer, ne s'enfoncerait ni plus ni moins que celui dont la coque serait en bois, s'ils avaient tous deux même forme et même poids. Un sot préjugé cependant s'est long-temps opposé à la construction des navires en fer, malgré les avantages décidés qu'ils présentent dans une infinité de circonstances. Il est encore aujourd'hui bien des gens qui ne s'embarqueraient qu'avec répugnance sur un vaisseau construit de ce bois des Indes dur et presque inaltérable, qu'on appelle *teck*, et cela parce qu'ils ont appris qu'il était plus pesant que l'eau, et que, sous forme de bûches par exemple, il ne surnageait point. Ces terreurs de *bonne femme* n'ont point empêché toutefois qu'on ait employé ce bois à la construction de superbes vaisseaux de ligne : et des navires de la Compagnie des Indes, du port de quinze cents tonneaux et plus, sont aujourd'hui construits en teck.

Nous voyons, enfin, qu'un vaisseau de mille tonneaux aura toujours le même *tirant* d'eau, c'est-à-dire s'enfoncera toujours à la même profondeur, quelles que soient les substances qui forment sa charge, pourvu que leur poids soit toujours le même; — et que, comme ce poids, plus celui du vaisseau, équivalent à celui du volume d'eau déplacé, il sera facile d'obtenir la charge du navire en jaugeant ce volume d'eau. Cette méthode hydrostatique de déterminer la charge d'un navire, est surtout commode pour les bateaux qui naviguent sur les canaux, parce que la forme en est très-simple. Chaque mètre cube d'eau déplacé équivaut à mille kilogrammes ou à un tonneau (1).

Le corps de l'homme dans l'état normal, est plus léger que l'eau, après une forte inspiration.

Si cette vérité était plus répandue qu'elle ne l'est aujourd'hui, elle contribuerait plus efficacement à sauver les hommes que les naufrages ou d'autres accidens livrent à la merci des flots, que toutes les inventions mécaniques en usage, quelque ingénieuses qu'elles soient d'ailleurs.

Le corps humain, après une forte inspiration, est tellement plus léger que l'eau, qu'il flotte sans aucun effort, avec la moitié de la tête environ au-dessus du

---

(1) Soit S la surface du plan de flottaison en mètres carrés, lorsque le bateau est vide, S' la surface du plan de flottaison lorsque le bateau est chargé, h la distance perpendiculaire de ces deux plans en mètres, on calcule la charge C en tonneaux, par la relation

$$C = \frac{S + S'}{2} \times h.$$

Il suffirait évidemment d'ajouter trois zéros au résultat que donnerait cette relation, pour avoir la charge en kilogrammes.

(*Note du traducteur.*)

niveau du liquide, sans plus de tendance à s'enfoncer que n'en aurait un morceau de sapin. Il suffirait donc, pour entretenir la respiration et la vie, de faire en sorte que ce fût la face qui s'émergeât toute entière.

Nous résumerons ici toutes les causes qui contribuent, dans les cas les plus ordinaires, à la mort de tant de malheureuses victimes :

1° Elles s'imaginent que des efforts non-interrompus sont absolument nécessaires pour empêcher le corps de s'enfoncer, ce qui fait qu'elles prennent immédiatement la position des nageurs : la face étant alors tournée en bas, il devient indispensable de maintenir toute la tête hors de l'eau pour entretenir la respiration, et cette malheureuse position les perd bientôt, car les efforts qu'on est obligé de faire pour conserver cette position, épuise en peu de temps les nageurs eux-mêmes, et permettent tout au plus à celui qui a négligé l'étude de cet art utile, de prendre quelques inspirations; le corps repoussé un moment au-dessus du niveau par les efforts du malheureux, s'enfonce au-dessous de ce niveau aussitôt que les efforts cessent, et cette immersion, qui lui paraît le premier pas vers une fin certaine, le frappe d'une terreur qui le livre bientôt à la mort, contre laquelle il se débat si maladroitement.

2° Il en est d'autres qui redoutent particulièrement l'entrée de l'eau dans leurs oreilles, comme si celles des plongeurs n'en étaient point toujours impunément remplies. Il n'en est point cependant des oreilles, comme de la bouche et du nez, car le liquide ne peut remplir que l'oreille externe; il s'arrête à la membrane du tympan, et ne peut produire aucun effet nuisible.

3° Il arrive encore que les personnes qui n'ont point l'habitude de l'eau, et qu'un accident y plonge, font des efforts inouis pour élever leurs bras au-dessus de la sur-

face liquide, comme si elles pouvaient trouver dans l'espace un point d'appui pour s'y suspendre. Cette malheureuse tendance à s'élever hors du liquide est extrêmement nuisible, car les bras, qui perdaient une partie de leur poids égale au volume d'eau déplacé, viennent ajouter ce poids tout entier à celui de la tête; de sorte que c'est toujours aux dépens de cette dernière, c'est-à-dire en l'enfonçant, qu'ils se découvrent.

4° Faute d'avoir remarqué que les corps même spécifiquement plus légers que l'eau, que les bûches par exemple sont de temps en temps recouvertes lorsqu'elles flottent dans une eau agitée, on s'effraie souvent à la mer de la première vague qui nous submerge, et qui ne tarderait point cependant à s'entr'ouvrir pour nous laisser reparaître à la surface. Ce sont ces intervalles d'émersion que l'adroit nageur choisit pour respirer.

5° Enfin, on peut encore attribuer la perte des noyés, à ce qu'ils ignorent combien il importe d inspirer autant d'air qu'il est possible : une forte inspiration produit presque les mêmes effets qu'une vessie remplie d'air qu'on se suspendrait au cou; elle suffit pour maintenir presque toute la tête hors de l'eau, et des efforts sagement combinés font le reste. — Si la poitrine est vide, au contraire, au moment où la face est submergée, il devient impossible de la remplir de nouveau, le corps acquiert alors un poids spécifique plus grand que celui de l'eau, il s'enfonce.

Lorsqu'un homme plonge à une grande profondeur, la compression qu'il éprouve dans tous les sens diminue le volume d'air dont il est intérieurement chargé, il devient effectivement plus lourd que l'eau, et ne reparaîtrait plus à la surface sans les mouvemens méthodiquement réglés qui constituent l'art du nageur. — L'auteur de cet ouvrage vit un jour un matelot nègre tomber,

pendant un calme, de l'extrémité d'une vergue située à plus de soixante-dix pieds de hauteur : sa vitesse fut telle qu'il s'enfonça immédiatement à une grande profondeur dans la mer, où il se trouva nécessairement soumis à une très-forte compression. Le choc l'étourdit sans doute considérablement, car bien qu'il fût excellent nageur, il ne put remuer les bras qu'une ou deux fois, et on le vit pendant un temps fort long s'enfoncer graduellement, jusqu'à ce qu'enfin il disparut comme une tache noire et vague dans les régions inconnues de l'abîme.

On ne peut peut-être point raisonnablement attendre que tout le monde, hommes et femmes, apprennent à nager; cependant il serait de la première importance pour tout individu forcé de faire un voyage en mer, de s'être exercé d'avance à maintenir au moins la face hors de l'eau. La tête, à cause de la grande quantité d'os qui y entre, est d'un poids assez considérable qui tend à la renverser dans le liquide : cependant le seul mouvement des mains, s'il est sagement réglé, suffit pour la maintenir au-dessus, et pour peu qu'on accompagne ce mouvement par une espèce de piétinement brusque, mais pas trop précipité, la tête entière demeure continuellement émergée, lorsque le corps flotte dans une eau tranquille. On voit que le mouvement des pieds est ici le même que dans ce qu'on appelle la *nage en chien*.—Peut-être les soixante-dix passagers qui périrent en novembre 1825, auprès de Greenock, avec le navire à vapeur *la Comète*, eussent-ils pu être sauvés par les bateaux qui vinrent à leur secours, si, convaincus des vérités que nous venons de développer, ils avaient considéré leur malheur avec moins d'épouvante, et avaient essayé froidement, et sans de vains efforts, de se maintenir quelques minutes à la surface de l'eau.

Lorsqu'on a une longue distance à parcourir en nageant, on se repose en se retournant quelque temps sur le dos, le corps se soutient beaucoup plus facilement dans cette position, que lorsqu'on est tourné sur le ventre; il suffit, pour s'y maintenir, d'agiter légèrement les mains placées en guise de petites ailes sur les côtés du bassin, comme on le pratique dans ce qu'on appelle faire *la planche*.

Il faut si peu de chose pour maintenir la tête hors de l'eau, qu'un grand nombre d'individus tout-à-fait ignorans dans l'art de la natation, ont été sauvés du naufrage en se cramponnant à quelques débris du navire: une longue rame suffirait pour maintenir six personnes, sans danger, à la surface de l'eau; malheureusement, dans d'aussi cruelles circonstances, chacun fait des efforts pour avoir la plus grande sécurité possible, on ne se contente point d'avoir la tête seule hors de l'eau, on ne veut point consentir à être de temps à autre couvert par la vague, et ce secours plus que suffisant devient souvent tout-à-fait inutile.

Les appareils ordinaires de *sauvetage* se composent de morceaux de liége enfilés par un cordon qui les retient autour du cou ou de la poitrine: cinq ou six livres de liége suffisent pour faire flotter commodément un homme à la surface de l'eau. On emploie aussi des espèces de sacs imperméables, munis d'un tube à soupape, à travers lequel on les remplit d'air par insufflation.

Les grandes rivières de la Chine sont couvertes d'une immense population, de véritables villes où les familles sont entassées dans des bateaux disposés comme les maisons sur la terre ferme. On sent que les chutes peuvent y avoir bien d'autres conséquences que dans nos rues par exemple; or les Chinois, toujours si ingénieux, ont su prémunir leurs enfans contre les dangers d'une telle situation; ils suspendent au cou de leurs petits garçons

une balle creuse de quelque matière légère, qui les retient à la surface de l'eau lorsqu'ils y tombent, de sorte qu'on repêche en quelque sorte ces enfans comme ici on les ramasse.

On fait entrer dans les bateaux de sauvetage une très-grande quantité de liége, qu'on remplace quelquefois par des tubes imperméables de cuivre ou d'étain, de sorte que même lorsqu'ils sont remplis par les vagues, une grande partie de leur volume se trouve encore au-dessus du niveau de la mer.

La nage est beaucoup plus facile pour les quadrupèdes que pour l'homme, parce que les mouvemens qu'ils ont à faire pour se soutenir le mieux possible à la surface de l'eau, sont précisément ceux qu'ils effectuent pendant la marche ou pendant la course. En dépit de l'art nautique qu'il a créé, et qui le rend maître des mers, l'homme est dans l'eau la plus malheureuse des créatures, la natation est pour lui un art, tandis que les animaux, pour la plupart, se soutiennent, sans aucune habitude de l'eau, à la surface de l'instable liquide. Le cheval porte son cavalier en laissant hors de l'eau la moitié de son corps; le chien non-seulement flotte, mais se dirige sur l'eau la première fois qu'on l'y jette. Les cygnes, les oies, les poules d'eau, etc., se soutiennent à la surface par le fait réel des lois hydrostatiques; le corps est très-léger, les os creux, les poumons très-amples; les plumes qui couvrent le corps de l'animal, font qu'il déplace un grand volume d'eau sans augmenter sensiblement son poids; sous ces plumes est un duvet dans lequel l'air s'enchevêtre; enfin, tout, dans ces animaux, paraît édifié pour qu'ils se soutiennent sans efforts à la surface de l'eau, qu'à l'aide de leurs doigts palmés ils sillonnent dans tous les sens, comme les vaisseaux majestueux dont ils rappellent la forme.

L'homme marche impunément, dans le fond d'une eau profonde, sur des cailloux aigus ou des débris de verre, car la plus grande partie de son poids est supporté par le liquide.

Cette diminution de poids est encore la cause de la perte des ignorans, qui se hasardent à passer à gué les rivières dont le courant est même à peine sensible; leur corps ne pressant point assez sur le fond, ils perdent pied si le gué est profond et étroit, et le courant fait justice de leur imprudence.

Chargé de ses armes et de son bagage, et les bras hors de l'eau, le soldat passera souvent sans danger le gué qu'il n'eût point impunément traversé sans sa charge.

Le moyen qu'on emploie en Chine pour attraper les canards sauvages, exige que le chasseur soit chargé ou lesté pour s'enfoncer dans l'eau : on étend à la surface de la rivière quelques poignées de grain léger, pour attirer les canards; un homme se cache alors au milieu de ce grain, sous une espèce de grand panier qui recouvre sa tête, et descend le fleuve avec le courant; lorsque la troupe s'approche et entoure le panier, il saisit les canards un à un, avec une adresse telle qu'il semble que ces oiseaux plongent, et les attache de manière à ce qu'ils ne reparaissent plus. Le lest dont il se charge sert à contre-balancer la force ascensionnelle des canards, car chaque oiseau vient à son tour faire l'office d'un morceau de liége qui soulève le chasseur de bas en haut.

Les poissons peuvent à volonté changer de poids spécifique, en augmentant ou diminuant le volume d'une vessie toujours remplie de gaz, qu'ils portent à la partie inférieure de leur corps. C'est même parce que cette vessie, dite *natatoire*, est située inférieurement, que les

poissons morts flottent à la surface de l'eau, le ventre en l'air.

Le corps des animaux développe, par la putréfaction, une énorme quantité de gaz. C'est ce qui fait que le corps des noyés enfle considérablement pendant quelque temps, et remonte à la surface de l'eau, où il demeure jusqu'à ce que ces gaz continuant à se développer, brisent enfin leurs enveloppes ou s'échappent par les issues naturelles. Le corps s'immerge alors de nouveau, pour ne plus reparaître.

Un corps flottant *tire* la même quantité d'eau, c'est-à-dire s'enfonce dans le liquide à une même profondeur, quel que soit le volume de l'eau qui le supporte.—Un bassin de porcelaine, par exemple, s'enfoncerait de la même profondeur si on le plaçait à la surface d'un étang, que s'il était disposé dans un autre bassin très-peu plus grand que lui, dans lequel on verserait quelques cuillerées d'eau pour remplir jusqu'aux bords l'intervalle laissé entre eux. Une once d'eau pourrait donc mettre à flot un corps qui peserait une livre; c'est là un nouvel exemple de ce qu'on appelle un *paradoxe hydrostatique.*

De sorte que : si nous supposons que le plus grand vaisseau de guerre connu, armé et gréé comme pour aller en mer, puisse être introduit dans un bassin dont le contour ne serait éloigné de ses flancs que d'un demi-pouce dans tous les points; si nous supposons, en outre, qu'à l'aide de quelques tonneaux d'eau, on remplisse cet intervalle de liquide jusqu'à la ligne de charge du navire, on l'y verrait flotter, malgré le poids de ses voiles, de sa mâture, de ses canons, etc., tout aussi parfaitement que sur le vaste et profond Océan.

L'on voit dans quelques canaux de navigation les bateaux remplir juste le sas dans lequel ils ont à s'élever

ou à descendre; ce qui diminue considérablement la dépense.

Cherchons maintenant le cas où un corps flottant conserve un équilibre *stable*, c'est-à-dire ne court aucun danger de se renverser malgré les forces perturbatrices; et pour fixer les idées, appliquons cette recherche aux navires.

Nous avons vu qu'il ne suffisait point, pour qu'un corps fût en équilibre dans un fluide, que le poids de ce corps fût égal à celui du volume de fluide déplacé, mais qu'il fallait, en outre, que le centre de gravité du corps et celui du volume de fluide déplacé, fussent situés sur une même verticale. Si nous n'avons point démontré cette dernière partie du principe, c'est que nous avons cru ne devoir la présenter qu'ici; elle doit d'ailleurs paraître évidente à quiconque aura lu avec attention le premier volume de cet ouvrage. En effet, tout corps plongé dans un fluide peut être considéré comme soumis à deux forces contraires. La première est le poids total du corps, qu'on peut regarder comme une force appliquée au centre de gravité de ce corps agissant évidemment de haut en bas, et verticalement; la seconde est la *poussée* du fluide, qu'on peut regarder aussi comme appliquée au centre de gravité du fluide déplacé, mais agissant, elle, de bas en haut; cette force est d'ailleurs précisément égale à la première, puisque le poids du fluide déplacé est égal à celui du corps plongé. Or, la première s'exerçant verticalement de haut en bas, ne paraît-il pas évident que la seconde, qui agit de bas en haut, devra aussi s'exercer *verticalement* pour détruire l'autre. S'il n'en était pas ainsi, l'équilibre ne pourrait en effet subsister, puisque ces deux forces égales ne seraient point directement opposées l'une à l'autre.

Cela posé, on doit voir très-clairement comment un vaisseau plongé dans une mer calme, y demeure en équilibre. Mais, il ne suffit pas que cet équilibre subsiste dans une position unique, il faut encore que le navire puisse reprendre sa position lorsque le vent par son action sur les voiles, ou lorsque les vagues de la mer viendront le faire pencher d'un côté ou d'un autre.

Soit donc (*figure* 14 *bis*) *A* un vaisseau à flot, *G* le centre de gravité de la masse totale du navire, *L* celui du fluide qu'il déplace, le navire conservera sa position première d'équilibre, puisque *G* et *L* sont situés sur une même verticale.

Supposons maintenant (*fig. B*) qu'il vienne à s'incliner un peu, et que la section *F f* du navire, par le plan du niveau de l'eau, ou ce qu'on appelle le *plan de flottaison*, devienne *F' f'*; il est évident que la carène se sera précisément enfoncée d'un côté autant qu'elle s'est émergée de l'autre, car les volumes *F I F'* et *f i f'* sont égaux; mais les volumes de fluide déplacé qui, dans la figure *A* étaient symétriques à droite et à gauche de l'axe *X Y*, ne le sont plus dans la figure *B*, *f i y* est plus grand que *F' i y*, le centre de gravité du fluide déplacé n'est donc plus en *L*; comme il se rapproche nécessairement du plus grand volume immergé, supposons qu'il soit en *L'*, faisons passer par ce point *L'* une verticale, elle rencontrera nécessairement l'axe *X y* en un point; soit ce point de rencontre que l'on appelle le *métacentre*, situé en *M*, et examinons ce qui va se passer.

1° Si le point *M*, ou le métacentre, est comme dans la figure *B*, situé au-dessus du centre de gravité de la masse totale du navire, ou de *G*, on aura deux forces égales : l'une, qui est le poids du vaisseau, est appliquée en *G*, et s'exerce de haut en bas; l'autre peut être évidemment considérée comme appliquée en *M*, elle est

égale à la première, mais elle s'exerce de bas en haut. Le vaisseau se trouve donc soumis à deux forces égales, contraires et parallèles, qui dès-lors doivent le faire tourner de droite à gauche, s'il s'incline de gauche à droite, et réciproquement; c'est-à-dire que par leur opposition elles tendent à ramener le vaisseau vers sa position primitive;

2° Si (*fig. C*) la verticale *L M* passant par le centre de gravité du fluide déplacé, allait couper l'axe précisément au point *G*, centre de gravité du navire, c'est-à-dire, si le métacentre *M* et le centre de gravité du vaisseau coïncidaient, il est clair que les deux forces égales et contraires se détruiraient en *M*, et que le navire pourrait tout aussi bien conserver cette position, que celui *A* conserve la sienne;

3° Enfin (*fig. D*) si la verticale passant par le centre de gravité du fluide déplacé, allait rencontrer l'axe au-dessous du centre *G* de gravité du navire, ou si le métacentre se trouvait au-dessous du centre de gravité *G*, il est clair que les deux forces égales et contraires agiraient de concert pour augmenter l'inclinaison du vaisseau, qui ne pourrait manquer de chavirer.

L'équilibre d'un navire est donc stable, toutes les fois que le métacentre est situé au-dessus du centre de gravité de la masse entière du navire, et il l'est d'autant plus que la distance de ces points est plus grande; le navire manque de stabilité, au contraire, si le métacentre est situé au-dessous du centre de gravité, mais il persiste dans l'état où il se trouve, si ces deux points coïncident, ou s'ils se trouvent situés sur une même verticale.

Sur ce principe repose l'art d'*arrimer* les vaisseaux,

Digitized by Google

il montre l'utilité de placer toujours en dessous les marchandises les plus lourdes, et autorise l'usage de placer même au-dessous de ces marchandises, c'est-à-dire tout-à-fait à fond de cale, des saumons de fonte, dont le grand poids abaisse ainsi le centre de gravité de la masse totale du navire.

On conçoit maintenant quelle espèce de danger court un vaisseau qui se désarrime, c'est-à-dire, dont la charge et le lest viennent à changer de place. On a vu se perdre des vaisseaux entièrement chargés de pierres, parce qu'une vague, en leur donnant une certaine inclinaison, avait altéré l'arrimage, ce qui les avait empêchés de se relever. C'est ainsi qu'une cargaison de sucre ou de sel, met souvent en danger le navire qui la porte; car s'il fait eau, ces substances se dissolvent, et lorsqu'à l'aide des pompes on a retiré l'eau qui s'est introduite, l'assiette du vaisseau se trouve quelquefois tout-à-fait altérée, il n'a plus la stabilité convenable. — L'année 1809 nous a laissé un exemple de ce genre de désastres : La flotte des Indes revenait en Angleterre; arrivée près de l'Ile-de-France, elle fut prise par un ouragan qui lui enleva quatre superbes vaisseaux chargés de salpêtre. Le salpêtre s'était dissous, on l'avait évacué, et il était devenu impossible de manœuvrer les navires. Telles sont du moins les conjectures que l'on fit sur la cause de cet affreux événement, conjectures qu'autorisaient d'ailleurs parfaitement la cargaison des autres navires de la flotte, et leur situation pendant la tempête.

Les vessies dont se servent les apprentis-nageurs sont un secours fort dangereux, lorsqu'elles ne sont point invariablement fixées vers les parties supérieures du corps.

Un grand génie annonça il y a quelque temps au monde savant, qu'il était enfin parvenu à trouver un

moyen certain de marcher sans danger sur l'eau; il fit prévenir le public, dans toutes les parties du royaume, qu'à certain jour fixé son premier essai aurait lieu. Le grand jour arrivé, nouveau Saint Pierre, il s'avance hardiment sur la vague monté dans une énorme paire de bottes en liége qu'il avait fait construire avec beaucoup de soin, et dont il avait préalablement fait l'essai dans un baquet d'eau, chez lui; mais, hélas! le pauvre homme, qui sans doute était un de ces bons praticiens bien ignorans et bien fiers de ce qu'*ils ont fait*, n'avait point assez réfléchi sur la stabilité des corps flottans; les mots de métacentre et de centre de gravité, dont il avait entendu parler, lui avaient toujours paru un jargon pédantesque, barbare, inutile, et parfaitement insignifiant. A quoi lui servaient ces vains mots, qui selon lui faisaient la science; fallait-il donc étudier la mécanique, pour savoir que le liége est plus léger que l'eau.... Pur pédantisme! En conséquence de ces beaux discours, tout ce qui resta de lui à la surface fut une paire de jambes, dont le singulier mouvement montrait assez que celui à qui elles appartenaient n'était pas fort à son aise. On alla lui donner la main, et on le reconduisit chez lui, la tête un peu plus saine, en lui conseillant de mettre à profit sa *pratique* et *son expérience*.

Des soldats cantonnés dans un port de mer, trouvèrent un jour dans un magasin de la marine quelques *vestes de liége*, et résolurent de les essayer. Mais comme ces appareils de sauvetage leur étaient tout-à fait inconnus, ils passèrent leurs *jambes* dans les manches, s'imaginant que c'était des caleçons. Ils se faisaient d'avance une fête de s'asseoir tranquillement sur l'eau, et de voyager ainsi de compagnie pendant quelques heures, en fumant leur pipe. Mais, ô horreur! leurs lourdes têtes descendirent bientôt au-dessous de leurs centres de gra-

vité, et l'on eut toutes les peines du monde à les arracher à la mort.

Lorsque le soleil, en se rapprochant du pôle, vient détacher les glaces emprisonnées dans ces affreuses régions, d'immenses îles flottent à la surface de la mer, élevant leurs têtes dans les airs, tandis que leurs bases plongent à une grande profondeur dans l'Océan. Mais bientôt la fonte s'opère, et presque toujours inégalement dans l'eau et dans l'air, la masse change de forme, et l'un des plus grands phénomènes de la nature s'opère alors. Ces montagnes se renversent, une subversion soudaine a lieu, en agitant les flots à plusieurs lieues de distance.

La pression exercée par les fluides, le degré d'immersion et d'émersion des corps qui plongent dans leur sein, ou qui flottent à leur surface, varient avec le poids spécifique de ces fluides.

Le tirant d'eau d'un navire est moindre d'un trente-cinquième environ dans l'eau salée et pesante de la mer, que dans les eaux fraîches et légères d'un fleuve. C'est cette différence de poids spécifique qui fait qu'un homme se soutient plus facilement, en nageant, à la surface d'une mer calme que dans un fleuve.

Il est un grand nombre de bois qui flottent à la surface de l'eau, et qui plongent tout entiers dans l'huile.

Un homme flotte sur le mercure, comme le liége le plus léger flotte à la surface de l'eau; avec de l'exercice, il parviendrait à marcher sur le mercure.

Si le poids spécifique des eaux de l'Océan eût été un peu plus grand qu'il ne l'est en effet, les naufragés auraient pu mourir de froid et de faim, mais ils ne se seraient point noyés.

L'huile surnage l'eau, elle s'enfonce dans l'alcool ou

l'éther. Le terme *esprit-preuve*, employé par les commerçans, signifiait esprit assez léger pour qu'une goutte d'huile qu'on y projetait s'y enfonçât. La force de l'esprit est en raison de sa légèreté spécifique. L'on a aujourd'hui des moyens très-exacts de déterminer la densité des esprits, c'est l'instrument que nous avons décrit plus haut, l'*aréomètre*, qu'on emploie à cet usage.

La crême s'élève à la surface du lait; c'est elle qui s'oppose, pendant l'ébullition, à la vapeur aqueuse qui s'en dégage, ou, comme on le dit, le fait *monter*.

Lorsqu'on laisse reposer pendant quelque temps le sang tiré d'un animal vivant, il se sépare en différentes couches, suivant l'ordre des poids spécifiques de ses différentes parties. Si l'animal est attaqué d'une maladie inflammatoire, la première couche, celle qui surnage toutes les autres, est souvent une espèce de couenne qui paraît analogue à la fibrine; vient ensuite le coagulum général, qu'on nomme caillot ou *cruor;* au-dessous, il se forme une accumulation de globules rouges, et le caillot flotte sur le *sérum*, espèce de liquide transparent et jaunâtre qui occupe le fond. A mesure que les globules rouges se séparent du coagulum, ils tombent même au fond du sérum.

Si l'on verse du vin sur de l'eau, avec quelques précautions et très-doucement, goutte à goutte par exemple, le vin surnage l'eau. On peut même rendre cette expérience plus intéressante, en employant un vase de la forme indiquée par la figure 15. C'est une espèce de sablier peu étranglé entre la partie inférieure et supérieure; on verse le vin dans le vase inférieur *b*, et lorsqu'il est rempli jusqu'en *c*, on introduit l'eau dans la partie *a;* on voit alors les liquides changer de place, de sorte qu'il semble, au premier coup-d'œil, que l'eau est changée en vin, et réciproquement. L'expérience réussit

beaucoup mieux, si l'on dispose des tubes comme on le voit dans la figure, de manière à porter l'eau jusqu'au fond de la partie inférieure, à travers le tube *b;* celle-ci, à mesure qu'elle descend, chasse le vin par le tube *a*, et le dispose immédiatement à la surface du liquide plus dense.

Si l'on introduit dans un flacon, du mercure, de l'eau, de l'huile, de l'air, et quelques autres fluides; puis qu'on secoue ensuite ce flacon pour mélanger toutes ces substances, et qu'on l'abandonne au repos, elles se disposent bientôt dans l'ordre de leurs poids spécifiques.

Lorsqu'on place une masse d'eau dans un vase, sur un foyer ardent, les molécules plus rapprochées du feu que les autres, s'échauffent les premières; le premier effet de la chaleur est de les dilater, c'est-à-dire, de faire occuper un plus grand volume à la quantité de matière qui les constitue, dès-lors leur poids spécifique diminue, et elles doivent, par les lois de l'hydrostatique, s'élever à la surface, tandis que les molécules supérieures, au contraire, descendent graduellement au fond du vase. Il s'établit donc une circulation perpétuelle, qui commence au moment même où l'on place le vase sur le feu, et qui ne finit que lorsqu'on l'en retire. — Il y a un mouvement ascensionnel continu des parties les plus échauffées aux plus froides, et mouvement inverse de la surface au fond.

Si l'on plonge dans une jarre de verre profonde, remplie d'eau froide, un long flacon ouvert, rempli lui-même d'eau chaude, il s'établit le long des parois du flacon un courant d'eau refroidie, et dirigée de haut en bas; un courant d'eau échauffée s'établit, au contraire, dans le milieu du flacon, et se dirige de bas en haut. On rend ce double mouvement très-sensible, en jetant dans le flacon

de petits morceaux d'ambre : cette substance ayant, à peu de chose près, le même poids spécifique que l'eau, monte et descend avec elle. C'est même à cause de ces courans, que la chaleur se répand dans la masse d'un liquide, lorsqu'on applique la chaleur au fond du vase qui le contient. Il serait fort difficile d'échauffer la même masse, en appliquant la même quantité de chaleur à la partie supérieure du vase. — On pourrait réduire en vapeur la couche supérieure d'un liquide, sans effectuer la fusion d'un morceau de glace fixé au fond d'un vase qu'on échaufferait par le haut; l'opération inverse serait tout-à-fait impossible.

Ces détails sur les courans produits par les changemens locaux de température, aideront à concevoir l'usage de l'appareil suivant, que l'auteur juge pouvoir être utile dans quelques circonstances. L'objet de cet appareil, dont la figure 16 montre le principe, est de communiquer à un liquide la chaleur d'un autre liquide échauffé, sans effectuer leur mélange, en faisant passer ce dernier dans un tube métallique fort mince, traversant, suivant son axe, un autre tube plus large, dans lequel le premier liquide s'éleverait continuellement.

Faisons d'abord la description de l'appareil, et nous en montrerons l'usage.

e est une cuve terminée inférieurement par un tube métallique très-mince *abf*, portant un robinet *f* à son extrémité, qui sert à régler la quantité d'eau qui doit s'écouler par le tube; ce tube *ab* traverse, suivant son axe, un autre tube d'un plus grand diamètre *gc*, mis en communication avec une autre cuve *r* par un conduit *dg*, qui s'élève à une certaine hauteur dans la cuve, et par un autre conduit *hc* qui vient se rendre à la partie inférieure de la cuve *r*, où il porte un robinet *h* qui règle la quantité d'eau qui sortira de cette cuve. Supposons

maintenant que *e* soit remplie d'eau bouillante, et *r* d'un liquide quelconque qu'on veut échauffer; si l'on ouvre le robinet *f*, d'une très-petite quantité, l'eau bouillante va descendre très-lentement à travers *a b*, en échauffant ce tube; ouvrant *h*, le liquide froid descendra le long de *h e*, remplira la capacité *g e*, s'y échauffera par son contact avec *a b*, et comme il aura acquis par ce rechauffement un poids spécifique moindre que celui qui reste dans la cuve, il s'élevera, en passant par *d g*, jusqu'à la partie supérieure de *r*. Il y aura donc continuellement un courant de liquide froid qui sortira de cette cuve *r*, et un courant de liquide chaud qui y entrera; comme d'ailleurs l'écoulement à travers *a b* est continu, le liquide de la cuve *r* acquerra la température de l'eau bouillante, ou à fort peu près. — L'auteur pense qu'un appareil construit sur ce principe, et dans lequel ôn remplacerait le tube unique *a b* par un grand nombre de petits tubes rectangulaires et très-aplatis, et le tube *g e* par une cuve que ces tubes traverseraient, serait un excellent réfrigérant pour les appareils de distillation et pour le refroidissement du mout de bière dans les brasseries. Son emploi pourrait encore considérablement diminuer la dépense des bains chauds, en faisant passer la chaleur des eaux dont on s'est servi, à celles qui devront servir, et sans les mélanger, etc., etc.

C'est une loi générale de la nature, que toute substance se contracte par le refroidissement. L'eau présente cependant une exception curieuse, dont les effets, dans l'économie de la nature, sont vraiment dignes de remarque. En effet, en se solidifiant, l'eau se dilate, et cette dilatation, soit dit en passant, est telle, que le liquide acquiert une force d'expansion immense. Voilà pourquoi les vases pleins d'eau, dont l'ouverture est resserrée; les pierres, dont les fissures contiennent de

l'eau, se brisent par un temps de gelée, ce qui explique cette locution, *il gèle à pierre fendre.* Quoi qu'il en soit de la cause de cette dilatation de l'eau solide, il doit en résulter une diminution de poids spécifique. Thompson a trouvé, en effet, que l'eau, à la température de 15°.55 du thermomètre centrigrade, étant prise pour unité, le poids spécifique de la glace était 0.92. Or, la glace étant plus légère que l'eau, elle devra surnager; d'un autre côté, cette diminution de densité ne commence point au terme même de la congélation, elle est déjà sensible un peu au-dessous de quatre degrés, et va toujours en augmentant à mesure que la température s'abaisse, jusqu'à congélation complète : la surface des puits et des rivières sera donc plus froide en hiver que leur fond, tandis qu'elle sera plus chaude en été, et ces deux effets contraires seront les résultats d'une même cause, la diminution de poids spécifique.

C'est à cet effet bien remarquable que les poissons doivent de ne pas être emprisonnés dans leur demeure pendant l'hiver : la glace qui flotte à la surface étant un très-mauvais conducteur du calorique, protége le liquide inférieur contre l'action de l'air froid, et conserve sa fluidité jusqu'au retour d'une plus douce température. De plus, l'eau la plus froide en hiver, comme l'eau la plus chaude en été, venant former les couches supérieures du liquide, ils n'ont jamais à craindre une température trop basse ou trop élevée. — C'est ainsi que par le seul fait de la cristallisation, la nature a pourvu au bien-être de la gent aquatique, tout aussi sûrement qu'à celui des animaux terrestres, dont le manteau fourré s'épaissit avec le froid et se dépouille au retour de la saison des fleurs. — Si la glace eût été plus pesante que l'eau, elle eût dû aller occuper les profondeurs, et laissant la surface sans protection, les lacs

profonds, dans nos hivers d'Europe, fussent devenus des masses solides que le soleil de l'été n'eût pas plus dissoutes que les glaciers des montagnes de la Suisse; et des régions entières, si délicieuses aujourd'hui et si fertiles, n'eussent jamais été que des solitudes incultes et inhabitées.

FIN DE L'HYDROSTATIQUE.

SECTION DEUXIÈME.

FLUIDES AÉRIFORMES.

ANALYSE DE LA SECTION.

Dans les fluides aériformes les molécules glissent sans résistance sensible les unes sur les autres et en tous sens, aussi facilement que dans les liquides; — le calorique maintient leurs molécules à distance; — ils se laissent comprimer par la puissance la plus faible, et reprennent immédiatement leur volume primitif lorsque la compression cesse. L'EXPANSIBILITÉ *est leur propriété principale; nous retrouvons dans leur étude les lois générales des fluides:* ÉGALITÉ DE PRESSION EN TOUS SENS, ACCROISSEMENT DE PRESSION AVEC LA PROFONDEUR, PROPRIÉTÉ DE PRENDRE LEUR NIVEAU, MÊMES CONDITIONS DE STABILITÉ, *sauf les modifications apportées par leur extrême* LÉGÈRETÉ *et leur* ÉLASTICITÉ.

QUELS pas immenses nous avons fait vers la connaissance des lois de la nature, depuis le temps où les plus illustres philosophes regardaient *l'air*, *le feu*, *l'eau* et *la terre*, comme les quatre élémens constitutifs de toute la matière. Nous savons aujourd'hui que l'état aériforme n'est qu'une pure modification de la même substance, qu'une forme passagère que peuvent prendre les différens corps, et dont la cause première est la chaleur qui les pénètre: solides comme la glace, lorsque privés de calorique leurs atomes, cédant à leur attraction mutuelle, se rapprochent en une masse plus ou moins compacte; — liquides comme l'eau, lorsque pénétrés par une quantité suffisante de calorique, ces atomes se séparent facilement

les uns des autres et cèdent à la moindre force ; — aériformes ou gazeux comme la vapeur, lorsque échauffés jusqu'à un certain degré variable pour chacun d'eux, le calorique, par son action répulsive, vient disjoindre entièrement ces atomes et les maintenir à distance. — Ces corps, en changeant de forme, n'ont point changé de nature, et l'art du chimiste parvient à faire monter ou descendre à chaque substance tous les degrés de cette échelle.

Cependant la plupart des substances sont dans des rapports très-divers avec ce subtil et universel agent, le calorique ; à la température moyenne du globe, il y aura donc des solides, des liquides et des gaz : les solides en général étant plus lourds sous un volume donné, devront occuper les parties inférieures et former la grande masse ou le noyau ; les liquides viendront ensuite entourer ce noyau, en remplir les inégalités, et former la masse de l'Océan, en se nivelant comme l'exigent leur nature et les forces auxquelles ils sont soumis ; au-dessus des liquides et des solides, enfin, s'élèveront les gaz ou substances aériformes, qui formeront à leur tour un océan moins dense, enveloppant la terre et ses plus hautes montagnes, et dont on a évalué la hauteur à environ quinze lieues.

Il existe deux substances en particulier, l'*oxigène* et l'*azote*, qui abandonnent à de très-basses températures les combinaisons dans lesquelles elles se trouvent engagées : l'atmosphère doit donc se trouver formée principalement de ces substances ; nous disons principalement, car on y trouve, en outre, quelques portions de plusieurs autres substances. — L'eau, par exemple, y est fort abondante, et sous la forme de nuages, de pluie, de brouillard, de neige, etc., elle fait varier de la manière la plus pittoresque toutes les scènes de la nature, en

facilitant son travail aussi efficacement que celui de l'homme. Nous avons dit que l'atmosphère avait quinze lieues de hauteur, on voit combien cette couche d'air qui environne la terre de toutes parts, est petite comparativement aux dimensions de celle-ci ; elle ne formerait qu'une enveloppe d'un dixième de pouce d'épaisseur environ, sur un globe qui aurait un pied de diamètre.

L'Océan atmosphérique est le grand laboratoire dans lequel se passent la plupart des actions vitales sur lesquelles sa composition doit avoir dès-lors une certaine influence. L'air est indispensable à tout être organique, aux végétaux comme aux animaux, car tout être vivant périt plus ou moins promptement dans le vide ; il faut même que cet air soit renouvelé, sous peine d'un dépérissement plus ou moins prolongé, qui se termine par la mort de l'individu. Il faut à l'homme dix-neuf mètres cubes ou vingt-quatre kilogrammes d'air environ à consommer par jour. Une *tanche* consomme 50,000 fois moins d'air qu'un homme, mais de même qu'aux autres animaux aquatiques, l'air lui est nécessaire. — De là cet usage de faire, pendant l'hiver, des trous à la glace des étangs, si l'on ne veut point voir périr tous les poissons qui y sont contenus. Tout ce qui vit entretient avec l'air atmosphérique des rapports nécessaires à son existence, et l'idée de respiration est devenue si générale, que l'on a dit la *respiration des plantes*, quoique ces êtres ne paraissent agir sur l'atmosphère que par leur surface extérieure, à l'aide surtout de ces expansions tendres et délicates qu'on nomme *feuilles*, et des fleurs qui font leur parure.

La circonstance la plus remarquable de la respiration en général est l'absorption d'une certaine quantité d'oxigène et la formation d'une proportion relative d'acide

carbonique dans les animaux, tandis que l'inverse a lieu pour la plupart des végétaux; de sorte que cet échange perpétuel de principes nécessaires aux uns et inutiles ou même nuisibles aux autres, entretient dans la masse atmosphérique une uniformité de composition vraiment admirable.

Tant que les Anciens eurent sur l'air ces notions vagues qui leur faisaient indifféremment désigner ce fluide par les noms d'*éther*, d'*esprit*, de *souffle*, *de vie*, etc., l'idée ne leur vint jamais de chercher, par la voie de l'expérience, si cette masse invisible dans laquelle ils étaient plongés, n'était point aussi de la matière; — et l'une des belles pages de l'histoire des sciences, est celle où on voit graduellement la lumière de l'expérience venir éclairer, dans les temps modernes, un sujet d'un aussi haut intérêt, et qui était resté pendant tant de siècles plongé dans une obscurité profonde. — Galilée fut, dit-on, le premier qui remarqua la pression que l'air exerçait à la surface de la terre; Toricelli et Pascal prouvèrent que cette pression était due à son poids propre, et mesurèrent la hauteur de l'Océan aérien. — Priestly, Black, Lavoisier et autres, montrèrent qu'un certain air pouvait être uni à un métal de manière à en augmenter le poids, en formant une combinaison dont les propriétés étaient tout-à-fait autres que celles des principes dont elle était formée; ils firent voir que la plus grande partie des minerais arrachés des entrailles de la terre, n'étaient que des métaux combinés avec cette substance, qui, une fois dégagée, montait dans l'atmosphère, dont elle était partie constituante. Ils analysèrent, enfin, cette atmosphère elle-même, et déterminèrent les propriétés distinctes de chacune de ses parties; et ce mot d'air, employé dans l'origine pour désigner une substance unique dont on ne connaissait aucune

propriété, ne signifie plus aujourd'hui qu'un état particulier de la matière, qu'une forme accidentelle que les corps peuvent perdre ou acquérir.

On s'est beaucoup livré, depuis quelques années, à l'étude des gaz, et des découvertes fort importantes ont été le fruit de ces travaux : nous pouvons prendre aujourd'hui une petite quantité de ce fluide invisible et impalpable que nous respirons, en chasser le calorique par une forte compression, et le réduire en un liquide huileux que nous conserverons indéfiniment, ou qu'en le décomposant pour le combiner avec d'autres corps, nous ferons passer à l'état solide.

Une fois qu'on eut entrevu que l'air pouvait bien être une substance matérielle comme l'eau, par exemple, mais d'une densité beaucoup moindre, il devint facile de suivre la comparaison, et il suffit d'en appeler à l'expérience journalière pour confirmer en grande partie ce qui n'était d'abord qu'un soupçon. Une planche plate éprouvait de la résistance à se mouvoir dans l'eau, parce que le liquide s'opposait à son mouvement, et le seul mouvement d'un évantail suffit pour montrer que cette résistance existait aussi dans l'air, Le sable, les cailloux, étaient entraînés par le courant d'un fleuve ; — des corps légers, des plumes, des brins de paille, étaient de même emportés par des courans d'air.

Il y a des moulins mus par la force de l'eau, il y a aussi des moulins mus par la force du vent.—L'huile qu'on introduit dans le fond d'un vase rempli d'eau, s'élève à la surface; la fumée et l'air chaud s'élèvent de même dans l'atmosphère. — L'esprit-de-vin renfermé dans une légère enveloppe, s'élève à la surface de l'huile; le gaz hydrogène s'élève aussi dans l'air, lorsqu'il est retenu dans un ballon.

Le poisson se meut dans l'eau, à l'aide de ses na-

geoires ; l'oiseau se meut dans l'air, à l'aide de ses ailes ; — si l'on enlève l'eau renfermée dans le vase qui contient le premier, il tombe au fond de ce vase ; si l'on place le second sous le récipient d'une machine pneumatique, et qu'on fasse le vide, ses ailes battent inutilement, il tombe et reste sans mouvement.

Montrons maintenant que l'air et les gaz ne diffèrent mécaniquement de la classe de fluides connus sous le nom de liquides, que par leur légèreté et leur élasticité. Par légèreté, il faut entendre légèreté relative, densité très-faible comparativement à celle des autres corps de la nature, et le mot élasticité est la désignation de cette faculté dont jouissent à un haut degré les fluides aériformes, de diminuer indéfiniment de volume par la compression, et de reprendre immédiatement leur volume primitif, lorsque la compression vient à cesser.

Poids de l'air et des gaz.

La légèreté ou la rareté de l'air atmosphérique est telle, qu'à la température de la glace fondante, le poids d'un litre d'air n'excède guères un gramme (1g.2995), c'est-à-dire que ce fluide pèse sous le même volume sept cent quatre-vingts fois environ ($\frac{1}{779}$) moins que l'eau. La vapeur d'eau sous le piston d'une machine à vapeur ordinaire, ne pèse guère plus que la moitié d'un pareil volume d'air ; l'hydrogène dont on remplit les aérostats, pèse quatorze fois moins que l'air atmosphérique, et le gaz acide carbonique qui s'échappe de la bière et des vins mousseux, une fois et demie environ autant que lui ; de sorte qu'on peut le transvaser à peu près comme un liquide dans l'air atmosphérique ; il occupe toujours le fond du vase, comme le ferait un volume d'eau qu'on verserait sur de l'huile.

Elasticité.

On peut presser entre les mains, et parvenir à réduire sensiblement le volume d'une petite vessie remplie d'air; mais elle reprend sa forme primitive aussitôt que la compression cesse.

Soit *fig.* 17, *a b*, un tube métallique parfaitement calibré, dans lequel se meut, à l'aide d'une tige *d*, un piston *c*, qui, au moyen du cuir graissé qui l'enveloppe, intercepte parfaitement toute communication entre la partie supérieure *a* et la partie inférieure *b* du tube; si l'on fait descendre le piston dans ce tube rempli d'air, le volume de celui-ci va diminuer de plus en plus, et à un point tel, qu'on pourra ne lui faire occuper que le centième ou le deux-centième de la capacité du tube qu'il remplissait tout entier; toutefois, au moment où l'on cessera de presser sur le manche *d*, l'air reprendra son volume primitif avec une force égale à celle que la condensation aura exigée.

Au contraire, si le piston, au commencement de l'expérience, eût été placé à un pouce au-dessus du fond, et qu'on l'eût tiré de bas en haut jusqu'au sommet *a*, le petit cylindre d'air, qui n'avait qu'un pouce de hauteur, se serait répandu dans toute la capacité du tube, perdant ainsi sa densité en acquérant plus de volume.

Si l'on demandait pourquoi l'air, qui semble par sa nature prendre toutes les densités possibles, conserve toujours, à peu de chose près, la même à la surface de la terre, on répondrait que : de même que l'eau dans les profondeurs de l'Océan se trouve soumise à une pression qui dépend de la hauteur du niveau liquide au-dessus d'elle; de même l'air de la surface terrestre supporte le poids de toutes les couches supérieures, comme la rangée inférieure d'un amas de bottes de foin dans un

magasin à fourrages, supporte le poids de toutes les bottes supérieures. Nous verrons plus loin que la densité des couches de l'atmosphère, qui résulte de la compression à laquelle elles sont soumises, varie avec l'état de cette atmosphère. Le poids de celle-ci, pour un lieu donné, change, en effet, sous l'influence des nuages, des vents, de la pluie, etc., etc. Nous verrons enfin qu'il diminue de plus en plus, à mesure qu'on s'élève au-dessus du niveau des mers, et nous apprendrons à déterminer, par cette diminution, l'élévation à laquelle on se trouve.

Le tube de la figure 17 devient, suivant la position qu'on donnerait aux soupapes, ou un appareil d'exhaustion, ou un appareil de condensation, et ces deux opérations dépendent de l'élasticité de l'air.

C'est une *machine à compression*, lorsque la partie inférieure du tube, ou corps de pompe, correspond à un petit conduit auquel on visse le récipient dans lequel on veut conduire l'air, et que le fond de ce corps de pompe porte une petite soupape qui s'ouvre de haut en bas. Vers la partie supérieure du corps de pompe, mais à une distance du sommet plus grande que l'épaisseur *c* du piston, est une petite ouverture latérale par laquelle s'introduit l'air extérieur. Supposons que le piston soit situé au-dessus de cette ouverture, l'air extérieur s'introduit dans le corps de pompe; si l'on abaisse le piston, l'air se condense, son élasticité augmente, il ouvre la petite soupape du fond, et la force avec laquelle on pousse le piston jusqu'au fond du corps de pompe, chasse l'air que celui-ci contenait dans le récipient; alors la soupape est poussée de bas en haut, elle se referme. On soulève de nouveau le piston jusqu'au-dessus de l'ouverture latérale, l'air extérieur s'introduit encore dans le

corps de pompe; on abaisse de nouveau le piston, les mêmes effets se reproduisent, et une nouvelle quantité d'air est introduite dans le récipient. On parvient ainsi à y condenser autant d'air que l'on veut; et remarquons que la soupape est d'autant mieux fermée que l'air est plus condensé dans le récipient.

Le mécanisme de la pompe à compression une fois bien compris, il sera facile d'entendre celui de la pompe d'exhaustion, connue sous le nom de *machine pneumatique*. Remarquons d'abord que l'opération étant inverse, les soupapes devront être inverses, et comme elles se fermaient de bas en haut dans la première, elles s'ouvriront de bas en haut dans la seconde. Cela posé, la figure 18 suffira pour nous donner une juste idée du principe de cette machine assez compliquée aujourd'hui. — *k* est le récipient de verre sous lequel on fait le vide, *i h g* est un conduit traversant l'épaisseur du plateau sur lequel repose le récipient, et qui met celui-ci en communication avec deux corps de pompe *a b*, dans lesquels se meuvent des pistons munis de soupapes s'ouvrant de bas en haut. Ces pistons sont fixés à des tiges dentées *d c*, qui s'élèvent et s'abaissent alternativement lorsqu'on fait agir la roue dentée *e*, avec laquelle ces crémaillères engrènent, au moyen de la manivelle *f*, ou de tout autre mécanisme plus commode. Enfin, dans le bas des corps de pompe, se trouvent deux autres soupapes qui s'ouvrent aussi de bas en haut. Expliquons maintenant le jeu de cette machine, en supposant, pour plus de simplicité, qu'il n'y ait qu'un seul corps de pompe. Si l'on abaisse le piston, l'air renfermé entre sa surface inférieure et le fond du corps de pompe se condense, la soupape du piston se relève pour laisser passer l'air, et elle se referme par son poids aussitôt que le piston est parvenu au fond du corps de pompe; si on relève le

piston, le vide tend à se former au-dessous de lui; dès-lors l'air du récipient se détend par son élasticité, ouvre la soupape du fond du corps de pompe, et se partage ainsi entre le récipient et le corps de pompe lui-même; la soupape du corps de pompe se referme par son poids, et lorsqu'on abaisse le piston, sa soupape s'ouvre comme dans le premier cas, et les phénomènes décrits se renouvellent tant qu'on meut le piston de haut en bas et de bas en haut; l'air se raréfie alors considérablement dans l'intérieur du récipient. On pourrait demander quel est l'usage des deux corps de pompe, le voici: Si l'on faisait le vide à l'aide d'un seul, l'opération s'effectuerait assez facilement dans le commencement, mais bientôt le poids de l'atmosphère cessant d'être contrebalancé par la force élastique de l'air du récipient, on éprouverait une très-grande difficulté à soulever le piston. On a imaginé dès-lors d'employer ce poids même pour vaincre la résistance qu'il oppose; de là la nécessité des deux pistons, et celle de les construire même parfaitement égaux. On conçoit, en effet, que l'un montant pendant que l'autre descend, le second est poussé de haut en bas avec une force égale à la résistance que le premier éprouve à se mouvoir de bas en haut. Le mécanisme qui les réunit établit alors une compensation parfaite, et les efforts nécessaires pour faire jouer la machine sont toujours les mêmes. — Nous nous sommes étendus un peu sur cette ingénieuse machine, parce que nous aurons souvent dans la suite l'occasion de rappeler les expériences extrêmement intéressantes dont elle a été la source. Il est presque superflu de remarquer qu'on ne peut jamais obtenir un vide parfait à l'aide de cette machine, quelque bien construite qu'elle puisse être (1).

(1) Il est souvent utile de déterminer quelle est la quantité d'air

La force élastique de l'air, sa résistance à la compression, sont proportionnelles à sa densité ou à la quantité qu'on a pu en introduire dans un espace donné. Par conséquent, connaissant deux de ces trois quantités, savoir : sa densité, sa force élastique ou la compression à laquelle il est soumis, on obtiendra toujours la troisième.

Des expériences, dont nous parlerons plus loin, ont montré que toutes les substances situées à la surface de la terre, et plongées dans l'atmosphère, étaient soumises à une pression dans tous les sens, équivalente à environ un kilogramme par centimètre carré de surface, tandis que les couches d'air situées à la surface, et qui supportent par conséquent le poids de toutes les couches supérieures, ont une densité telle que le litre d'air pèse

---

qu'on a extraite du récipient pour un nombre donné de coups de piston*, ou plutôt quelle est celle qui reste dans le récipient après un certain nombre de tours de manivelle.

Supposons que l'un des pistons étant au fond de son cylindre, l'autre soit à la partie supérieure du sien; un tour de manivelle, en élevant le premier et abaissant le second, va enlever une portion d'air égale à celle contenue dans l'un des cylindres, et il en sera de même pour chaque tour. Représentons ce volume d'air par P, soit encore F la capacité du récipient et des tubes de communication jusqu'à la première soupape; A la masse de l'air qu'ils contiennent; enfin, n le nombre de coups de piston donnés ou de tours de manivelle, on aura pour la quantité d'air extrait E, après n coups de piston.

$$E = \frac{AF^{n-1}P}{(F+P)^n};$$

et il restera dès-lors dans la machine une quantité d'air

$$R = \frac{AF^n}{(F+P)^n}.$$

Cette formule montre que le vide ne peut jamais être parfait dans la machine, puisque, quelque grand que soit le nombre n des coups de pistons, la fraction ne peut jamais devenir $= 0$.

(*Note du traducteur.*)

environ un gramme (1^{c}.299). La loi posée ci-dessus, et dont on peut encore déduire celle-ci : *Les volumes de gaz sont en raison inverse des poids qu'ils supportent ;* cette loi, disons-nous, montre que sous une pression additionnelle de un kilogramme par centimètre carré, le volume de l'air serait réduit à la moitié, ce qui double sa densité. Que sous une pression nouvelle de un kilogramme par centimètre carré, ce volume serait réduit au tiers, et sa densité trois fois plus grande. Qu'enfin, sous une pression de quatre *atmosphères*, le volume serait réduit au quart, et la densité serait quatre fois plus grande. Cette loi, découverte par Mariotte, en France, et à peu près à la même époque par Boyle, en Angleterre, a été confirmée pour des pressions moindres que la pression atmosphérique, et pour des pressions de plusieurs centaines d'atmosphères, et *la force élastique de l'air est, dans tous les cas, égale à celle qui produit la compression;* de sorte que si la compression cesse, l'air agit aussitôt à la manière d'un ressort qui se détend (1).

---

(1) Il résulte des expériences de M. Despretz, que tous les gaz sont plus compressibles que ne l'indique cette loi connue en France sous le nom de *loi de Mariotte*. Selon ce physicien, auteur d'un Traité estimé, les volumes obtenus réellement sont toujours plus petits, et tous les gaz ne sont point, comme on le pensait, également compressibles. On s'étonnera peut-être que des expériences puissent fournir des résultats contraires; c'est que tout dépend de la manière dont elles sont faites : l'expérience a prouvé que l'eau était incompressible, l'expérience a prouvé aussi que l'eau était compressible. Quoi qu'il en soit, la loi de Mariotte peut être regardée comme sensiblement vraie dans certaines limites; et comme on l'emploie souvent pour ramener un volume donné d'air à une pression constante, nous donnerons la relation suivante :

Soit V le volume d'un gaz sous une pression P,

V' celui qu'il aurait sous une pression P' à la même température, on a

$$V' = \frac{VP}{P'}.$$

(*Note du traducteur.*)

Il est extrêmement important de confier cette loi à sa mémoire; nous verrons par la suite qu'elle jette la plus vive lumière sur des théories importantes, telles que celles de toutes les machines pneumatiques: celle des fusils à vent; celle des machines à vapeur, car elle est vraie non-seulement pour l'air atmosphérique, mais pour tous les fluides aériformes; elle nous explique le décroissement de densité des couches atmosphériques à mesure qu'on s'élève; elle nous montre, par exemple, que la pression exercée sur un ballon va sans cesse en diminuant à mesure qu'il s'élève.

Nous ne savons point exactement quel degré de raréfaction pourrait atteindre l'air, si la pression était nulle, ou, en d'autres termes, à quelle distance au-dessus de la surface terrestre, l'action de la gravité fait équilibre à la force expansive de l'air. Il ne nous est donc point permis de nous former une idée juste de la rareté des dernières couches de l'atmosphère; elle doit être excessive dans tous les cas, puisque la force expansive de l'air laissé dans le récipient d'une machine pneumatique, et dont la densité est devenue mille fois moindre, suffit encore pour soulever la soupape. Dans les machines les plus parfaites, cependant, c'est un mécanisme particulier qui la soulève afin de rendre l'exhaustion plus complète.

L'expansion de l'air se démontre par une expérience assez intéressante: on place sous le récipient d'une machine pneumatique une vessie, dans laquelle on renferme une petite quantité d'air; à mesure qu'on fait le vide dans le récipient, on voit la vessie se gonfler de plus en plus, jusqu'à ce qu'enfin la membrane soit complètement tendue; on parvient même à lui faire soulever un poids, et souvent à la crever.

Une pomme ridée se gonfle de la même manière et

par la même cause; une sphère de verre mince remplie d'air se brise.

Ces phénomènes s'expliquent facilement : l'air retenu dans ces enveloppes est, avant l'expérience, soumis à la pression ordinaire de l'atmosphère; à mesure qu'au moyen de la machine pneumatique, on diminue cette pression, il tend à prendre plus de volume, et en cherchant à se raréfier au degré de celui qui l'entoure dans la machine, il brise les enveloppes qui le contiennent.

Il existe un instrument curieux, fondé sur la force d'expansion considérable que l'air acquiert par une grande compression ; nous voulons parler du *fusil à vent*. Sa partie principale est une forte sphère de cuivre fixée près de l'âme du canon, et munie d'une soupape s'ouvrant à volonté de dehors en dedans, à l'aide d'un mécanisme assez semblable à celui des fusils ordinaires, et qu'on nomme *batterie*. On condense l'air dans cette sphère trente ou quarante fois plus qu'il ne l'est dans les couches inférieures de l'atmosphère; la force avec laquelle il cherche à se détendre, est donc d'environ trente ou quarante kilogrammes par centimètre carré. En tirant la gâchette avec le doigt, la soupape s'ouvre un moment, une partie de l'air condensé s'échappe et pousse la balle placée dans le canon avec une force considérable : comme la soupape se referme presque aussitôt qu'on l'a ouverte, il n'y a qu'une petite partie de l'air condensé qui s'échappe ; cependant on conçoit que la force d'expansion de celui qui reste dans la sphère est diminué : toutefois on parvient à tirer un assez grand nombre de coups sans recharger la sphère, et les premières balles sont lancées avec une force presque égale à celle de la poudre.

La *fontaine de compression* est un autre joujou scientifique qu'on rencontre dans presque tous les cabinets

de physique, et que, pour cette raison, nous devons faire connaître : elle se compose d'un vase de la forme indiquée par la figure 19, dont l'orifice est traversé par un tuyau *cd*, muni à sa partie supérieure d'un robinet *c*; on introduit de l'eau dans ce vase jusqu'à la hauteur *ab*, par exemple; puis, à l'aide d'une pompe à compression, on refoule dans le vase, par le tuyau *c*, une certaine quantité d'air qui va en occuper la partie supérieure. Cela fait, on referme le robinet *c*, et l'on dispose sur le sommet du tube un petit ajutage percé d'une très petite ouverture; on ouvre alors le robinet *c*, et l'air renfermé dans le vase, pressant, en vertu de son élasticité, toute la surface *ab*, fait jaillir l'eau en un jet qui s'élève à une hauteur qui dépend, à chaque instant, de la densité de l'air du vase; cette densité allant toujours en diminuant, le jet qui s'élance dans le premier instant à une grande hauteur, devra donc sans cesse décroître, pour s'anéantir tout-à-fait au moment où les densités de l'air intérieur et extérieur deviennent égales. On peut varier cette expérience de la manière suivante : on place le vase, après y avoir introduit de l'eau jusqu'en *ab* sans y refouler d'air, sous un récipient cylindrique d'une assez grande hauteur; on fait le vide dans ce récipient, au moyen de la machine pneumatique, et le jet s'élance alors comme dans le premier cas. — C'est encore la force élastique de l'air condensé qui, dans certaines lampes, fait monter l'huile du réservoir inférieur jusqu'à la mèche. On a construit sur ce principe quelques autres appareils ingénieux, entre autres un bain de pluie et une seringue à injections.

L'élasticité de l'air a été mise à profit dans les grands appareils qui servent à la distribution des eaux dans les villes. On sait que les pompes ordinaires ne donnent l'eau que par intermittence; il fallait cependant que l'é-

coulement des tuyaux qu'elles alimentent fournit au contraire un jet non interrompu. Voici comment on s'y est pris pour arriver à cette uniformité : soit (*fig.* 20) *a* la pompe qui amène l'eau, et *d* l'origine du tuyau qui la porte à sa destination; on a réuni *a* et *d* par un grand réservoir *c*, dont la partie supérieure est remplie d'air condensé. On conçoit que l'eau envoyée par la pompe sous ce réservoir, se trouve soumise à une pression qui dépend de la force élastique ou de la densité de l'air qui y est renfermé, et que cette force élastique augmente d'autant plus, que, toutes choses égales d'ailleurs, la pompe y fait entrer une plus grande quantité de liquide. Chaque jet de la pompe vient condenser l'air un peu plus au moment de son introduction ; mais comme cet air tend sans cesse à se dilater, il pousse constamment l'eau dans le tuyau *d* avec une force peu variable, et rend ainsi l'écoulement à peu près uniforme. La pompe elle-même est tellement disposée, qu'elle introduit dans tout le système une petite quantité d'air à chaque coup de piston, de sorte que non-seulement le réservoir en est toujours rempli, mais même qu'il en passe continuellement avec l'eau dans le tuyau *d*: ce qui donne à tout le contenu du tuyau *d* et de ses ramifications une élasticité dont on a reconnu l'utilité dans certains cas.

On parvient au même résultat et par les mêmes moyens, dans la pompe à incendie; cet appareil se compose en effet de plusieurs pompes qui portent par intermittence chacune leur contingent d'eau dans un réservoir semblable à celui de la figure 20. L'air qui s'y trouve condensé presse le liquide et le lance en un jet continu sur les parties embrasées de l'édifice.

La *cloche à plonger* donne lieu à quelques phénomènes intéressans dus à la compressibilité et à l'élasticité

de l'air. Cette ingénieuse invention des temps modernes, qui a conquis à l'homme les profondeurs de l'Océan, lui permet aujourd'hui d'y descendre sans danger; il y séjourne, il y travaille : — il leur arrache les trésors que la tempête lui avait ravis, — et dans leur sein même il place les fondations de ces nobles phares qui en surgissent comme pour attester qu'il n'est point de lieu sur la terre qui ne doive enfin lui appartenir. La cloche du plongeur, sous le rapport de la hardiesse et de l'utilité, prend rang même avant ces aérostats majestueux qui ont transporté l'homme au-dessus de la région des nuages, car les avantages qu'il a pu retirer jusqu'ici de cette dernière invention, n'ont point encore compensé les funestes accidens dont elle a été la cause.

La *cloche à plonger* est un large vase ouvert par en bas et fermé de toutes les autres parts, qui contient dans son intérieur des bancs sur lesquels s'asseyent les ouvriers qui descendent travailler aux constructions ou aux recherches sous-marines. Elle a souvent la forme d'un tronc de pyramide quadrangulaire d'environ deux mètres de hauteur sur une base de deux mètres de longueur et un et demi de largeur. Des verres lenticulaires d'un décimètre de diamètre, incrustés dans sa base supérieure, y distribuent la lumière. Cette cloche est suspendue à un treuil placé sur un chariot roulant, et l'appareil est établi sur la poupe d'un navire ou d'un grand bateau. Elle est pleine d'air avant son immersion; mais l'air étant compressible dans le rapport donné ci-dessus, et la pression de l'eau croissant avec la profondeur, on conçoit qu'à mesure qu'elle s'immerge, le volume d'air qu'elle contenait va diminuant de plus en plus, jusqu'à se réduire à moitié pour une profondeur de 32 pieds, puisqu'il est alors soumis à une pression de deux *atmosphères*. La cloche alors a sa moitié inférieure remplie

d'eau, et l'ouvrier qui y respire reçoit à chaque inspiration deux fois autant d'air qu'à la surface de la terre. Toutefois, comme il est nécessaire de renouveler continuellement cet air, qui serait bientôt vicié par la respiration des travailleurs, une machine à compression communique avec la cloche par un tuyau de cuir, à travers lequel on refoule sans cesse de l'air frais dans l'appareil, tandis qu'un robinet qu'on peut ouvrir par dedans la cloche, sert à l'évacuation de l'air vicié et échauffé, qui va continuellement en occuper le sommet. Les ouvriers peuvent travailler à une certaine distance de la cloche; l'air leur est alors fourni par un tuyau flexible maintenu béant dans toute sa longueur par les circonvolutions d'un fil de fer placé dans son intérieur, et qui communique avec la cloche, l'air vicié s'évacuant par un autre tube. L'ouvrier, toutefois, ne peut respirer à son aise qu'autant qu'il se trouve à peu près au niveau de l'eau dans la cloche; en effet, s'il est placé beaucoup au-dessus de ce niveau, l'air de la cloche est beaucoup plus comprimé que sa poitrine; il est alors chassé vers lui avec une force qui exige de sa part quelques efforts pour en modérer l'admission; s'il travaille, au contraire, beaucoup au-dessous de ce niveau, sa poitrine est soumise à une compression beaucoup plus forte que l'air de la cloche, et il faut alors qu'à chaque inspiration les muscles des côtes agissent très-puissamment pour soulever les parois thoraciques, ou qu'il aspire l'air avec force. On peut reproduire ce phénomène en plongeant dans l'eau, à des profondeurs différentes, deux vessies mises en communication par un tube; l'air est refoulé de la vessie inférieure à la vessie supérieure, et il doit en être ainsi, puisque la première est soumise à une pression plus grande.

La difficulté qu'on éprouve à refouler l'air frais dans

la cloche, augmente naturellement avec la profondeur à laquelle elle se trouve. Si l'air intérieur, par exemple, est soumis à une pression additionnelle de un kilogramme par centimètre carré (ce qui aurait lieu à une profondeur de dix mètres environ), il est évident que la pompe d'injection devra agir avec une force plus grande. — Les ouvriers travaillent aujourd'hui dans le fond des mers et des rivières, si sûrement et si commodément, grâce à cet ingénieux appareil, que leur salaire excède de fort peu celui des autres journaliers.

On ne peut que s'étonner qu'à une époque où la cloche du plongeur est devenue d'un usage si général, on n'ait point encore pensé à employer, pour les secours aux noyés, un appareil aussi simple que le suivant, et qui a la plus grande analogie avec elle. Il semble qu'un vaisseau d'une capacité de quarante-cinq à cinquante litres, rempli d'air et chargé de poids suffisans pour l'immerger, serait un appareil fort commode et peu dispendieux pour retirer du fond des eaux les objets précieux que la tempête y aurait jetés, et pour porter secours aux malheureux qui se noient. Un tonneau de cette capacité, muni d'un tube qui mettrait le plongeur en communication avec lui, comme pour la cloche, suffirait à sa respiration pendant dix minutes ; son volume peu considérable lui permettrait de le prendre sous son bras et de plonger immédiatement au fond des eaux, soit en se laissant descendre d'un bateau, soit simplement en marchant sur le sable à partir de la rive. Quelques minutes de plus ou de moins sont d'une grande importance lorsqu'il s'agit de secours, et je pense qu'on obtiendrait ainsi l'économie de temps si précieuse en pareil cas. Le tube qui communiquerait avec le plongeur s'implanterait dans la partie supérieure du vase, et un trou pratiqué à son fond permettrait à l'eau de s'introduire et de

remplacer l'air à mesure qu'il serait consommé, le comprimant d'ailleurs avec une force proportionnelle à la profondeur. L'auteur a lieu de croire que cet appareil serait une addition utile à ceux de la *société d'humanité*, qui se livre avec tant de zèle à son honorable mission. — Les pêcheurs de perles, les hommes qui dans les rades et dans les ports se livrent à la recherche des objets naufragés, pourraient, il me semble, tirer un grand parti de cet appareil; un mécanisme fort simple permettrait même de leur envoyer successivement plusieurs tonneaux, de sorte qu'ils travailleraient au fond des eaux presque aussi commodément qu'avec la cloche, appareil assez dispendieux et tout-à-fait hors de leur portée (1).

Il existe un joujou scientifique fondé principalement sur l'élasticité de l'air et le principe d'égalité de pression en tous sens, que nous pouvons d'autant moins nous dispenser de faire connaître, qu'outre l'intérêt qu'il présente, il démontre, à l'aide d'expériences amusantes, presque toutes les lois de l'hydrostatique et de

---

(1) C'est à peu près ainsi qu'on renouvelait l'air dans la cloche à plonger du docteur Halley, avant les perfectionnemens dans la construction de cet utile appareil. « On avait des barils dont la capa-
» cité était de 160 litres, et qu'on enfonçait avec des poids; chacun
» de ces barils était percé en haut d'un trou qui communiquait avec
» un tuyau de cuir bien corroyé par un mélange de cire et d'huile;
» ce tuyau était assez long pour se rendre au-dessous de l'ouverture
» inférieure de la cloche; un trou, pratiqué au bas du baril, était
» destiné à laisser entrer l'eau, en chassant l'air qui venait renouve-
» ler celui de la cloche : ces barils étaient ensuite remontés à un si-
» gnal donné, et remplis d'air, pour servir au même usage; c'étaient
» des réservoirs d'air, qu'on montait et descendait alternativement,
» comme des seaux. — Des cordeaux fixés au bord inférieur de la
» cloche dirigeaient ces divers mouvemens. » (*Dictionnaire technologique*, tome V, page 372.)

(*Note du traducteur.*)

la pneumatique. Il se compose (*figure* 21) d'un petit ballon de verre mince *c*, percé d'un trou à sa partie inférieure, et portant une petite nacelle assez lourde pour le lester ou lui donner un équilibre *stable* lorsqu'il est plongé dans le bocal *a b*, rempli d'eau jusqu'en *d*.

Si l'on fait flotter le ballon lorsqu'il est rempli d'air seulement, il est alors si léger qu'il ne s'immerge qu'en partie, la poussée du fluide le maintenant à la surface; mais si l'on introduit de l'eau dans ce ballon, on conçoit que le poids spécifique du système va augmenter, et qu'alors il s'enfoncera plus ou moins, selon la quantité d'eau introduite; telles sont les causes principales des phénomènes très-variés que nous allons passer en revue. Soit l'orifice du bocal *a b* fermé par une peau de vessie ou un morceau de gomme élastique, tout étant disposé comme dans la figure; pour peu qu'on presse avec la main sur cette vessie, on voit le ballon s'enfoncer dans le liquide et descendre vers *b*; la compression cesse-t-elle? le ballon se relève en remontant vers *a*, et l'on parvient ainsi, en modérant convenablement la pression, à le maintenir en repos, à l'élever ou à l'abaisser, suivant qu'on le désire. Voici comment ces divers effets se produisent: la pression exercée sur la vessie se communique à l'air du vase, également et dans tous les sens; celui-ci transmet cette pression à toute la masse liquide; le liquide la transmet au ballon, et s'élève dans son intérieur, condensant la petite portion d'air située à sa partie supérieure. L'eau étant excessivement peu compressible, sa densité n'augmente point sous cette pression; l'air, au contraire, étant très-compressible, la densité de celui qui se trouve dans le ballon augmente, de sorte que cet accroissement de densité de l'air, et la quantité d'eau qui s'est introduite par l'effet de la pression, donnant au petit système un

poids spécifique moyen, plus grand que celui qu'il avait, il est de nécessité qu'il s'enfonce. — Lorsque la main cesse de presser la vessie, l'air du bocal reprend le volume et la densité qu'il avait avant la compression; l'eau dès-lors n'est plus soumise qu'à la pression ordinaire; l'air de l'intérieur du ballon se dilate en vertu de son *expansibilité*, et chasse par l'ouverture inférieure l'eau que l'accroissement de pression y avait introduite. Le poids spécifique moyen du petit système diminue donc, et il est encore de nécessité qu'il remonte dans le liquide. Si l'on avait donné primitivement au ballon un poids spécifique très-peu différent de celui de l'eau, et que le bocal eût une profondeur assez grande, le ballon et sa nacelle, parvenus au fond du vase par l'effet de la compression, ne se relèveraient plus quand elle viendrait à cesser; on conçoit en effet que puisque le bocal est supposé avoir une grande profondeur, la pression à son fond sera très-grande, la condensation de l'air du ballon se perpétuera, et le poids spécifique ne pouvant assez diminuer, puisque le poids du liquide excédera la force expansive de l'air, tout le système restera au fond du vase. — Ce qu'il y a de mieux à faire en pareil cas, est de renverser le bocal sur le flanc, car, dans cette position, la hauteur verticale du niveau de l'eau au-dessus du ballon diminue, la pression diminue donc aussi, et alors le ballon remonte à la surface.

Ce joujou, examiné avec soin, nous fait connaître bien des lois importantes. — Il prouve la *matérialité* de l'air, puisque la pression exercée par la main sur la vessie se transmet au liquide. — Il prouve encore sa *compressibilité*, puisqu'on voit l'air de la partie supérieure du ballon diminuer de volume. — Il prouve que l'air est *expansible* et doué d'une certaine *force élastique*, puisque, dès que la compression cesse, il reprend

son volume primitif en chassant l'eau qui s'était introduite. — Il montre que l'air a un poids spécifique moindre que l'eau, puisque le ballon dans l'état naturel s'élève vers les parties supérieures du bocal.—Il prouve encore que, dans les fluides, *la pression se communique dans tous les sens*, puisque les mêmes effets ont lieu, quelle que soit la position du bocal. — Il montre enfin que la *pression croît avec la profondeur*, puisque plus le ballon se trouve enfoncé au-dessous du niveau du liquide, moins il est nécessaire de presser sur la vessie. On conçoit en outre qu'on peut facilement reproduire tous les phénomènes d'équilibre *stable et instable;* de sorte que l'enfant qui se serait familiarisé avec ce joujou si futile en apparence, aurait acquis, en s'amusant, la connaissance des lois principales de l'hydrostatique et de la pneumatique.

C'est sur le même principe qu'est fondé le petit appareil que des faiseurs de tours exposent dans les grandes villes à la curiosité publique. Ils remplacent le ballon par quelques petits *bons hommes* d'émail, creux et percés d'une petite ouverture au talon, par laquelle l'eau s'introduit. On donne ordinairement à chacun un poids spécifique différent; de sorte qu'en comprimant la vessie qui ferme l'orifice du bocal, la plus lourde figure descend d'abord, et les autres suivent dans l'ordre de leur poids spécifique; elles remontent dans l'ordre inverse vers la surface lorsque la compression cesse. Le verbiage dont ils ont soin d'accompagner l'expérience, ne contribue pas peu à persuader les spectateurs ignorans du pouvoir surnaturel dont ils jouissent, et ce petit charlatanisme accélère la vente de leurs spécifiques contre les maux de dents, etc., etc. — Les effets sont encore bien plus surprenans lorsqu'on renverse le bocal sens dessus dessous, et qu'on introduit l'orifice dans

une table percée, sous laquelle se trouve un petit mécanisme qui permet au magicien d'exercer la compression sur le liquide, en appuyant avec le pied sur une pédale. Comme les spectateurs ne soupçonnent point, en général, cette communication, leur étonnement s'accroît à chaque évolution des *ludions*, qui semblent réellement obéir au commandement de leur seigneur et maître.

C'est ici le lieu de faire connaître ce charmant appareil connu sous le nom de *fontaine de Héron*, et sur lequel l'illustre Jean-Jacques Rousseau fonda dans sa jeunesse ses espérances de fortune. Il se compose, comme on le voit (*fig.* 22), d'une cavité *d*, qu'on remplit d'abord de liquide, tandis que les deux autres cavités *b* et *a* sont seulement remplies d'air. Versant ensuite de l'eau dans la cuve *a*, un jet s'élance de l'ajutage *e* dès qu'on ouvre le robinet, et s'élève à une hauteur peu différente de la longueur du tube qui met *a* et *b* en communication. — Voici comment ce singulier effet a lieu : l'eau de *a* descend le long du tube, et élevant son niveau dans la cavité *b*, elle y comprime l'air *c*; cette compression se communique à travers le tube ascendant, jusqu'à l'air situé à la partie supérieure de la petite cuve *d*, et tout se passe alors comme dans la fontaine de compression déjà décrite, c'est-à-dire que l'air de *d* transmet au liquide la pression à laquelle il est lui-même soumis, et le force à s'élever, par l'ajutage, bien au-dessus de son niveau. La compression étant produite par le poids de la colonne *a b*, il est évident que la hauteur du jet sera proportionnelle à la longueur de cette colonne, toutes choses égales d'ailleurs. — On a beaucoup varié la forme de cet appareil, en se proposant pour but principal d'en cacher tout le mécanisme. Ceux qu'on trouve en été dans les salons des riches, au milieu des fleurs qui les ornent, ont reçu la forme de la

figure 23. — On parvient assez facilement à les faire jouer une heure et plus, et il suffit ensuite, pour répéter l'expérience, de transvaser l'eau du réservoir inférieur dans le réservoir supérieur.

Maintenant qu'on doit avoir bien compris les propriétés qui distinguent les fluides aériformes des liquides, notamment leur *légèreté* et leur *élasticité*, nous allons montrer qu'ils jouissent des propriétés des liquides, et que les quatre grandes lois développées dans l'hydrostatique les régissent comme ces derniers : nous retrouverons donc d'abord, abstraction faite de leur pesanteur propre,

* *Egalité de pression dans tous les sens* *. (Lisez les analyses de la première et de la deuxième section.)

Il est facile de se convaincre que, dans les fluides aériformes, la pression se transmet également et dans tous les sens; il suffit pour cela de répéter sur un gaz les expériences que nous avons indiquées pour les liquides, et les mêmes phénomènes se reproduiront. Ainsi, ils chercheront dans tous les points de leur masse à obéir à la pression qui leur sera communiquée; et si le vase qui les renferme est muni de soupapes dont les surfaces soient égales, on trouvera qu'il faudra exercer partout la même force pour maintenir ces soupapes fermées. — Ainsi, la presse hydrostatique, ainsi le soufflet hydrostatique, reproduiraient tous leurs effets si l'on remplaçait le liquide par un gaz, sauf les modifications que pourrait apporter la *légèreté* de ce dernier.

C'est en vertu de la même loi que les gaz se précipitent toujours là où la pression est moins grande; le soufflet de nos foyers, l'aspiration, la succion, etc., etc., offrent un grand nombre d'exemples de ce phénomène, que nous aurons l'occasion d'examiner par la suite.

L'éclairage par le gaz donne une idée de la vitesse avec laquelle la pression exercée sur une portion quelconque d'une masse gazeuse se transmet en tous ses points ; on voit en effet l'intensité de la lumière augmenter à la fois et d'un seul coup pour tous les becs d'un théâtre ou d'une rue toute entière, à l'instant même où l'on augmente la pression du gaz dans le réservoir d'alimentation.

Nous allons passer en revue, dans la division suivante, les nombreux et intéressans phénomènes qui résultent de cette égalité de pression en tous sens, en montrant en même temps que la pression de l'atmosphère augmente avec la profondeur.

La pression à laquelle est soumise une couche fluide croît avec la profondeur de cette couche.

Ceux qui, pour la première fois de leur vie, abordent cette question, s'étonnent souvent qu'on parle de la hauteur ou profondeur de l'atmosphère comme d'une quantité parfaitement déterminée ; il leur paraît tout-à-fait extraordinaire qu'on puisse parvenir à connaître cette élévation, puisque personne au monde n'a pu s'élever aux dernières régions de cet océan gazeux qui nous enveloppe. La science fournit cependant les moyens de déterminer avec précision ce que l'ignorance n'eût jamais pensé à évaluer, même approximativement. Nous allons essayer de donner une idée de ces moyens dans la question qui nous occupe, et pour plus de facilité, nous comparerons l'eau à l'air, ou l'océan liquide à l'océan aérien.

Le fond d'un lac supporte tout le poids des eaux qu'il retient dans ses flancs, et chaque portion de sa surface supporte elle-même évidemment le poids de la colonne liquide qui aurait cette portion de surface pour base, et

pour hauteur la distance verticale du niveau de l'eau au-dessus d'elle : or, si l'on avait quelque moyen de connaître le poids total de cette colonne liquide (que nous supposons ici incompressible), et ce que pèse un certain volume d'eau, il est évident qu'on connaîtrait sa hauteur par un calcul bien simple, car il suffirait de diviser le poids total par le poids du volume connu, tout étant rapporté à la même unité. Supposons, par exemple, qu'on ait trouvé par un moyen quelconque qu'un décimètre carré pris sur le fond d'un lac supportait un poids de cent kilogrammes, comme on sait d'ailleurs qu'un décimètre cube d'eau pèse un kilogramme, autant il y aura de fois un kilogramme dans cent kilogrammes, autant il y aura de décimètres cubes dans la colonne liquide, et autant il y aura de décimètres linéaires dans la hauteur du niveau au-dessus du fond : on trouverait donc pour le cas actuel cent décimètres, ou dix mètres, pour la profondeur du lac. — De même, si l'on parvenait à déterminer quelle est la pression de l'atmosphère sur une surface donnée, et qu'on connût d'ailleurs le poids absolu d'un certain volume d'air, on conçoit qu'on trouverait ainsi la hauteur de la colonne fluide élevée sur cette surface, ou la hauteur verticale de l'océan aérien. Toutefois, comme l'air est un fluide très-compressible, il faudrait tenir compte du décroissement de densité des diverses couches. Or, des expériences faites avec beaucoup de soin ont prouvé que chaque centimètre carré de la surface terrestre supportait un poids de un kilogramme environ (1^k033) ; c'est à peu près la pression qu'elle éprouverait si elle était recouverte d'une couche d'eau de 32 pieds ou 10 mètres environ de profondeur, ou d'une couche de mercure de 28 pouces ou 76 centimètres ; de ce fait et de la loi de Mariotte, on déduirait la hauteur de l'atmosphère, qui a été éva-

luée à environ quinze lieues ; elle est à la terre, comme nous l'avons déjà remarqué, ce que serait une couche d'un dixième de pouce à un globe d'un pied de diamètre. Le reste de cette section est consacré à l'étude des phénomènes qui sont le résultat de cette pression de l'atmosphère sur tous les corps qui y sont plongés (1).

L'eau est une substance bien plus matérielle que l'air, si l'on peut ainsi s'exprimer ; on la rencontre partout, et cependant ses effets, même les plus sensibles, ne frappent point les observateurs ordinaires. Des phénomènes très-intéressans se passent sous leurs yeux sans qu'ils les remarquent : combien en est-il, par exemple, qui aient d'eux-mêmes découvert que la pression dans l'eau

---

(1) L'auteur s'est sans aucun doute proposé, dans ce paragraphe, d'indiquer comment il serait possible de déterminer la hauteur de l'atmosphère : on voit qu'il n'a point voulu parler ici des influences qui altéreraient totalement le résultat du calcul dont il donne un aperçu, se réservant probablement de les faire connaître dans la section de physique et d'astronomie. Il est important de remarquer toutefois qu'on n'arriverait qu'à un résultat tout-à-fait faux, si l'on ne faisait entrer dans ce calcul que le poids total de l'atmosphère et le décroissement des densités, suivant la loi de Mariotte. Ce serait négliger à la fois l'inégale intensité de la pesanteur à des hauteurs différentes, les inégalités de température, l'état hygrométrique des diverses couches, etc. Il faut donc prendre ce résultat tel qu'il est donné, sans chercher à le vérifier. Je ferai observer qu'il a fait pressentir quelques pages plus haut les causes qui s'opposaient à une détermination bien exacte de la hauteur de l'atmosphère par les théories mécaniques seules ; nous l'évaluerons cependant à quinze lieues environ, quoique la hauteur déduite de la théorie des réfractions indique seize lieues et demi au moins, ce qui lui donnerait un volume qui ne serait que le vingt-neuvième de celui de la terre : disons même que s'il fallait croire à la relation de quelques phénomènes météorologiques, on serait naturellement conduit à penser qu'il y a encore des substances gazeuses susceptibles d'inflammation et de détonation à vingt lieues de hauteur.

(*Note du traducteur.*)

croissait avec la profondeur ; il a fallu leur montrer qu'un morceau de liége perdait à chaque instant de son volume à mesure que sa distance verticale au niveau de l'eau augmentait ; il a fallu leur faire remarquer que les vases de verre vides ou même de métal qu'on enfonçait profondément se brisaient en mille pièces de dehors en dedans ; que le bois qui atteignait une certaine profondeur ne reparaissait plus, parce que le liquide, en le comprimant et pénétrant ses pores, lui donnait un poids spécifique qui le rendait aussi lourd que la pierre ; alors seulement, ils ont compris que l'eau pouvait bien exercer une pression, et que cette pression dépendait de sa profondeur, etc., etc. Faut-il s'étonner que les lois de la pneumatique soient restées long-temps ignorées, lorsque celles de l'hydrostatique, dont on voit tous les jours les effets, ne sont point même observées.

Remplissons d'eau un verre à boire ordinaire jusques aux bords, et couvrons-le ensuite d'une peau de vessie ou d'un morceau de gomme élastique ; enfin, plongeons ce verre ainsi disposé dans un bocal rempli d'eau lui-même, et plaçons-le au fond de ce bocal, l'orifice dirigé en haut ; nous pourrons remarquer que la vessie n'indique aucun signe de compression, bien qu'elle supporte le poids de toute la colonne liquide placée au-dessus d'elle. Il est facile de s'expliquer cet effet : l'eau supérieure presse la vessie, il est vrai, mais l'eau inférieure, celle qui est contenue dans le verre, résiste à cette compression, et la vessie étant alors soumise à deux forces égales et opposées, ne s'élève ni se déprime. Retirons le verre de l'eau, vidons-le, puis après l'avoir recouvert, plongeons-le de nouveau, nous verrons alors la vessie se déprimer considérablement, et peut-être même crever, si la pression supérieure est assez forte. On conçoit d'ailleurs qu'en introduisant dans ce verre un

ressort élastique qui supporterait la vessie, la compression de ce ressort indiquerait la compression de la vessie, c'est-à-dire le poids de la colonne liquide qui la presse, et l'on calculerait dès-lors facilement la hauteur de cette colonne. — Or, ces phénomènes se reproduisent dans l'air comme dans l'eau ; ayons un verre disposé comme dans l'expérience précédente, mais d'abord rempli d'air et recouvert par la peau de vessie, cette membrane n'indiquera d'abord aucune compression, parce qu'elle sera poussée de haut en bas par l'air extérieur avec une force égale à celle de l'air renfermé dans le verre. Cependant, laissons tout dans le même état, et faisons le vide dans le verre, au moyen de la machine pneumatique, nous verrons alors la vessie se déprimer de plus en plus, et bientôt la pression de la colonne atmosphérique située au-dessus d'elle et qui la déprimait d'abord, la défoncera en produisant une assez forte détonation. Nous pourrions de même introduire un petit disque de bois sous la vessie, et soutenant celui-ci par un ressort dans l'intérieur du verre, la compression de ce ressort indiquerait approximativement la pression de l'air au-dessus d'elle. — Nous ferons connaître cependant un moyen plus élégant et plus exact de déterminer cette pression, lorsque nous parlerons du baromètre. On démontre souvent ce phénomène de la pression atmosphérique, en faisant placer la main sur l'orifice d'un vase sous lequel on fait le vide ; le poids de l'atmosphère la retient alors avec une force égale à un kilogramme par centimètre carré ; de sorte que la paume de la main qui recouvre ce verre ayant environ trente-huit centimètres carrés, elle se trouve pressée avec une force de trente-huit kilogrammes.

Cette pression qui s'exerce sur tous les corps situés à la surface de la terre, va sans cesse en diminuant à

mesure qu'on s'élève, et il en doit être ainsi puisque la colonne fluide diminue alors de hauteur. On peut donc déjà entrevoir comment il est possible de juger, par cette diminution, de la hauteur du sommet des montagnes au-dessus du niveau des mers, et de celle à laquelle on s'élève dans les aérostats : nous reviendrons sur cette théorie importante en parlant du baromètre.

Après tout ce que nous avons dit sur la propriété, dont jouissaient les fluides, de transmettre également la pression dans tous les sens, il est en quelque sorte superflu de faire remarquer ici que le poids de l'atmosphère qui s'exerce verticalement de haut en bas, exerce une pression égale dans le sens horizontal, et qu'ainsi dans un appartement tous les objets y sont pressés de tous côtés, comme s'ils étaient au dehors. C'est un fait, au surplus, qu'il serait facile de vérifier; en disposant le verre de l'expérience ci-dessus dans le sens horizontal, la vessie serait toujours déprimée de la même manière, et creverait tout aussi sûrement que si l'orifice du verre était dirigé en haut. Rappelons-nous donc bien que tout ce qui se trouve placé au niveau des mers, corps animés ou inanimés, solides ou fluides, tout est soumis à une pression de $1^{k}033$ par centimètre carré de surface; que si cette pression ne nous paraît point sensible, c'est précisément parce qu'elle s'exerce dans tous les sens; ce qui fait que les philosophes ne la soupçonnèrent que fort tard, et que bien des gens ne l'admettent encore aujourd'hui que difficilement: c'est en faveur de ces derniers, auxquels ce livre est surtout destiné, que nous allons en ajouter quelques preuves. Examinons d'abord les effets de cette

** Pression atmosphérique sur les solides.**

Soit un plateau de verre ou de métal plongé en entier

dans l'atmosphère, nous savons qu'il est pressé de part et d'autre avec une force de un kilogramme par centimètre carré, et cependant bien qu'il puisse avoir un mètre de surface, nous le remuons avec facilité; c'est qu'alors les pressions qui s'exercent de part et d'autre se font équilibre, et se feront équilibre dans toutes les positions que le plateau pourra prendre. Voulons-nous rendre sensible la pression de l'atmosphère, plaçons ce plateau de verre, dont nous supposons la surface parfaitement unie, sur un autre plateau tout-à-fait semblable, et faisons en sorte d'évacuer l'air qui pourrait rester entre eux; essayons alors de les séparer, nous n'y parviendrons jamais par des moyens ordinaires si le vide est parfait, car chaque plateau se trouve pressé avec une force de dix mille kilogrammes; ce qu'il serait possible, quoique peu commode, de vérifier par l'expérience.

De même, chassez l'air d'une pompe à compression en abaissant le piston jusqu'à son fond, prenez toutes les précautions nécessaires pour empêcher l'air de s'introduire ensuite sous ce piston, et essayez de le soulever, vous pourrez facilement vous assurer qu'il vous faudra, pour y parvenir, développer une force de au moins un kilogramme par centimètre de surface : renversez ensuite cette pompe de manière que le piston soit en bas, introduisez-la, dans cette position, sous le récipient d'une machine pneumatique, et suspendez-la à la partie supérieure de ce récipient; faites le vide, et vous le verrez descendre par son propre poids, si le frottement qu'il exerce sur les parois du corps de pompe n'est pas trop considérable; laissez, enfin, l'air rentrer sous ce récipient, et vous verrez le piston remonter graduellement dans sa première position. — Ainsi donc, partout où se forme le vide à la surface terrestre, une pression dont

nous connaissons la valeur, s'exerce dans tous les sens de dehors en dedans.

Les récipiens des machines pneumatiques ordinaires ont environ vingt centimètres de diamètre, de sorte que, si leur partie supérieure était un cercle, cette partie devrait résister à une pression de trois cent quatorze kilogrammes, ou six cent cinquante livres environ, lorsque le vide serait parfait dans la machine; c'est afin qu'ils résistent sûrement à cette énorme pression qu'on leur donne la forme de dôme. Cette pression cependant n'est nullement sensible avant l'exhaustion, parce qu'alors elle est égale intérieurement et extérieurement. — La pression donnée ci-dessus n'est point la seule toutefois à laquelle un tel récipient doit pouvoir résister; car la pression s'exerçant également dans tous les sens, ses parois verticales, en supposant que ce récipient fût un cylindre d'une hauteur égale à son diamètre, se trouveraient encore poussées de dehors en dedans avec des forces perpendiculaires équivalentes en tout à douze cent cinquante kilogrammes environ. Ces calculs, bien simples, justifient l'épaisseur qu'on donne au verre dont ils sont formés.

Il est une ancienne expérience assez intéressante, au moyen de laquelle on démontra autrefois la pression de l'atmosphère sur les corps solides; nous voulons parler des hémisphères de Magdebourg. On appelle ainsi (*figure 24*) deux hémisphères concaves *a*, *b*, de cuivre ou de laiton, dont l'un est muni d'un robinet *b*, l'un et l'autre portant au milieu de leurs convexités des anneaux qui permettent de les suspendre ou d'y attacher des poids; on joint ensemble ces deux hémisphères pour en former une espèce de globe, et afin de rendre leur conjonction plus facile et plus exacte, l'un des deux a ses bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excède autant en dedans qu'en dehors; l'on met sur cet anneau

un autre anneau de cuir mouillé, sur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémisphère, qu'on a eu soin de bien dresser. Tant que ces hémisphères sont remplis d'air, on les sépare l'un de l'autre avec la plus grande facilité; mais si, adaptant le robinet *B* à la machine pneumatique, on y fait le vide, la pression de l'air extérieur ne se trouve plus contrebalancée par le ressort de l'air intérieur, et il faut alors, pour les séparer, exercer une traction équivalente à autant de kilogrammes qu'il y a de centimètres carrés dans la surface du grand cercle de la sphère, supposant toutefois que l'un d'eux est attaché à un point fixe. — Cette expérience est fort remarquable, en ce qu'elle est une des premières qui dirigea les recherches des savans sur la *matérialité* et les propriétés de l'air. Otto de Guerick, bourguemestre de Magdebourg, est l'inventeur de cet ingénieux appareil qui étonna le monde : les hémisphères qu'il fit construire d'abord avaient, dit-on, soixante-cinq centimètres de diamètre, ce qui, en supposant le vide parfait, exigeait pour leur séparation des efforts opposés équivalens de chaque côté à trois mille trois cent dix-huit kilogrammes. Il n'est donc pas surprenant que les six chevaux de l'empereur, qui y furent attelés lors d'une expérience publique, n'aient jamais pu parvenir à les détacher. — Comme on ne connaissait point la machine pneumatique du temps d'Otto de Guerick, il faisait le vide dans ses hémisphères en les remplissant d'eau d'abord et l'évacuant ensuite, au moyen d'une pompe ordinaire (1).

---

(1) J'ignore quelles sont les raisons que peut avoir M. Arnott pour affirmer qu'il n'y avait point de machine pneumatique du temps d'Otto de Guerick; je dois toutefois faire observer ici qu'on regarde généralement en France le bourguemestre de Magdebourg comme

L'action de ce jouet, connu des écoliers sous le nom de *tire-pavé*, dépend du même principe. C'est, comme on le sait sans doute, un petit cercle de cuir *a*, souple et humide, suspendu par son centre à l'extrémité d'une ficelle (*fig.* 25). On applique ce cuir contre un pavé, en pressant de part et d'autre de la ficelle avec les pieds, afin de chasser l'air qui resterait, sans cette précaution, entre sa surface inférieure et la pierre. Tirant alors la ficelle, qui doit avoir une force suffisante, on soulève la pierre et on la transporte ainsi suspendue partout où l'on désire. Si le cercle de cuir avait seulement quatre centimètres de rayon, et que le vide fût parfait, on parviendrait à soulever un poids de cinquante kilogrammes, puisque l'adhérence de la pierre et du cuir serait équivalente à cette force. Si la pierre était plus lourde, il faudrait tendre le cordon avec cette force de cent livres, pour le détacher de la pierre. — Ainsi un grand tire-pavé qu'on appliquerait contre un roc ou une muraille, résisterait à la force de plusieurs chevaux, comme les hémisphères de Magdebourg.

Ce joujou, qu'on pourrait appeler *tracteur pneumatique*, paraît susceptible d'applications diverses dans l'art de la chirurgie. — Il semble qu'on pourrait souvent l'employer avec avantage pour relever les parties déprimées dans les fractures du crâne, et éviter ainsi quelquefois l'opération du trépan. — Il serait alors préférable à la ventouse, car n'ayant d'action qu'au moment où la

---

l'inventeur de cette machine (année 1650). C'est à l'aide de cet appareil ingénieux qu'il fit, dit-on, l'expérience des hémisphères. J'ajouterai même, d'après Brisson, qu'on trouve une description de la machine d'Otto dans un traité imprimé en latin, sous le titre de *Nova experimenta Magdeburgica de vacuo et spatio*. Elle a reçu, *mais plus tard*, quelques perfectionnemens de la part de Boyle.

(*Note du traducteur.*)

traction s'exerce, il n'appellerait pas comme celle-ci un flux de sang continu à la partie soumise à son action, ce qui, comme on le sait, peut souvent être nuisible. Le tracteur pourrait même remplacer les verres à ventouses, lorsqu'on ne peut s'en procurer, tant pour préparer à une scarification, que pour augmenter ensuite le flux de sang après la poncture. On verra dans la dernière section de cette seconde partie, une autre application importante du tracteur dans l'art chirurgical; nous engageons les hommes de la profession à y jeter immédiatement un coup-d'œil.

Qui ne s'est demandé, dans son enfance, comment les mouches se soutenaient le long des murailles, au plafond et sur le poli des glaces : cette suspension est un effet du même principe.—Leurs pattes ne sont point, comme le croit le peuple, enduites d'une matière gluante qui les retient; elles sont composées, comme celles des canards et de quelques oiseaux aquatiques, d'une membrane très-flexible, qui, à l'aide de deux petits orteils, est soulevée lorsque l'insecte veut s'attacher, ce qui produit le vide entre cette membrane et la muraille ou la glace.— L'air extérieur presse alors la patte ainsi fixée, avec une force considérable comparativement au poids de l'insecte, et cette patte adhère à la manière du tire-pavé ou tracteur. Grand nombre d'animaux marins s'attachent de la même manière aux rochers.

Deux tracteurs appliqués l'un contre l'autre, exigeraient de chaque côté une dépense de force de un kilogramme par centimètre de surface, pour être séparés; cette expérience reproduirait en petit celle des hémisphères de Magdebourg.

L'action de ce tracteur peut être rendue fort sensible, en remplaçant l'air par un liquide. Ayez un corps terminé d'un côté par une face parfaitement plane, appli-

quez cette face sur le fond d'un vase très-uni et rempli de liquide, de manière à exclure tout ce qui pourrait se trouver de liquide entre cette face et le fond; le corps serait alors chargé du poids du liquide situé au-dessus de lui; il adhérerait donc au vase avec une force égale à ce poids, ou bien encore c'est celle qu'il faudrait dépenser pour le détacher. Ceci devient frappant lorsqu'on immerge de cette manière un morceau de liége dans le mercure; en l'appliquant avec force contre le fond du vase qui contient celui-ci, le liége adhère à ce fond avec une grande force lorsque la compression de la main cesse, et la force qu'il faut déployer pour le détacher; dépend toujours de la grandeur de sa surface. Il est presque superflu de faire remarquer que dans des expériences de ce genre, le poids de l'atmosphère (un kilogramme environ par centimètre carré) s'ajoute à celui du liquide pour retenir le corps au fond du vase.

Pression atmosphérique sur les liquides.

La pression de l'atmosphère sur les liquides produit un grand nombre d'importans effets qu'on s'explique si bien aujourd'hui, qu'on a quelque peine à concevoir qu'ils aient si long-temps échappé à l'attention des philosophes. Le jeu des pompes et des syphons est un exemple familier de ce genre de phénomènes, attribués, jusqu'au temps de Galilée, à une sainte *horreur* qu'avait la nature *pour le vide*, ou à un vague *principe de succion*. Cette découverte de la pression atmosphérique, fruit des recherches des *théoriciens*, des spéculateurs en mécanique *rationnelle*, a été la source d'une infinité d'importans résultats pour les arts.

Quelques personnes conçoivent difficilement, au premier abord, qu'un fluide aussi rare, aussi subtil que l'air, puisse exercer aucune action sensible sur un li-

quide dense comme l'eau ; une expérience bien simple peut leur démontrer cependant que ce fluide si rare et si léger, est capable de quelque résistance ; il suffit pour cela de renverser sur l'eau un verre à boire rempli d'air, quelque pression qu'on exerce sur son fond, à quelque profondeur qu'on le plonge, l'air s'oppose à ce que l'eau monte au niveau de ce fond. — Plongez encore dans l'eau l'une des extrémités d'un tube ouvert des deux côtés, soufflez dans son intérieur avec quelque force, l'eau chassée par le fluide abandonnera le tube, qui ne se remplira que lorsque vous cesserez de souffler. Qu'il soit lourd ou léger, ce fluide aériforme, cela ne fait rien à la chose, il a son poids, et, comme nous l'avons dit plus haut, cent livres de plumes ou cent livres de plomb, sont toujours cent livres.

Nous avons vu, en étudiant les effets de la pression atmosphérique sur les solides ; que chaque centimètre de surface des corps plongés dans l'atmosphère à la surface terrestre, était soumis à une pression de $1^{k}033$, nous allons montrer maintenant qu'une infinité de phénomènes regardés autrefois comme merveilleux, ne sont autre chose que des conséquences nécessaires de cette pression sur les liquides.

Nous avons cru qu'il serait avantageux, pour rendre ces effets plus sensibles, de remplacer, dans nos développemens, le fluide impalpable par quelque agent visible et en quelque sorte plus matériel ; c'est dans ce but que nous prions le lecteur de jeter les yeux sur l'appareil de la figure 26 : on y voit trois couches distinctes de liquide, l'inférieure est une couche de mercure, celle qui vient ensuite une couche d'eau, et la troisième, enfin, une couche d'huile.

L'huile d'olive ayant un poids spécifique exprimé par 9153, celui de l'eau étant 10000, il est clair que puis-

qu'une colonne d'eau de 32 pieds, ou 10^m4 de hauteur, fait équilibre au poids de l'atmosphère; il faudrait, pour obtenir cet équilibre en remplaçant l'eau par l'huile, une colonne de ce dernier liquide de 11^m3, c'est-à-dire que pour que la surface terrestre fût soumise à la même pression que celle qu'elle éprouve de l'atmosphère, on pourrait remplacer celle-ci par un océan d'huile qui l'enveloppérait de toutes parts, et dont la profondeur serait 11 mètres 3 dixièmes, disons 11 mètres en nombre rond. Cela posé, et pour que nos explications paraissent plus claires, augmentons par la pensée les dimensions du vase *abc* à tel point, qu'au-dessous de la couche d'eau *MW*, il renferme une couche de 11 mètres de hauteur, et qui dès-lors aurait son niveau en *O*. Nous aurons sept cas principaux à examiner :

1° Le poids de l'huile pressant chaque centimètre carré de la surface *W* avec une force de 1^k033, ou en nombre rond un kilogramme, le niveau de l'eau ne serait en rien altéré. — Le poids de l'atmosphère ne trouble donc nullement le niveau des liquides.

2° Si l'on versait l'huile peu à peu dans le vase *abc*, on verrait l'eau s'élever graduellement dans le tube latéral *iw*, ainsi que nous l'avons expliqué figure 10, et lorsque l'huile aurait acquis une hauteur de onze mètres, c'est-à-dire lorsqu'elle presserait la surface de l'eau avec une force de un kilogramme par centimètre, celle-ci atteindrait dans le tube latéral supposé complètement vide, une hauteur de dix mètres (nombre rond) seulement au-dessus de son niveau. Si l'on soulevait ces dix mètres de liquide à l'aide du piston placé au fond du tube *i*, une seconde quantité d'eau égale à la première, remplacerait immédiatement celle-ci, et chaque course du piston reproduirait les mêmes effets. Telle est à peu près l'action des pompes. — Dans ce mécanisme, l'atmosphère

remplace l'huile de notre appareil, elle presse la surface de l'eau et la fait monter dans un tube ou corps de pompe, jusqu'à la hauteur de trente-deux pieds, au moment où le piston, en se soulevant, tend à faire le vide dans ce corps de pompe. Nous reviendrons un peu plus loin sur cette machine ingénieuse, qui a reçu le nom de *pompe aspirante.*

3° S'il y avait dans le fond de notre appareil une couche de mercure *M* en communication avec le petit tube *m*, le mercure, d'après ce que nous avons vu plus haut, devrait s'élever dans ce tube *m;* et comme son poids spécifique est 13.6 environ, celui de l'eau étant pris pour unité, un calcul bien simple montrera que l'élévation du mercure dans cette branche serait de 28 pouces environ ou 76 centimètres. — Ainsi, 10^m4 d'eau ou 76 centimètres de mercure, sont la mesure de la pression atmosphérique à la surface du globe; c'est ce qu'indique d'ailleurs le petit appareil dont nous parlerons plus loin, et qu'on connaît sous le nom de *baromètre*, qui veut dire *mesure du poids.*

4° Plongeons dans l'huile un tube *d* ouvert à ses deux extrémités, et d'un centimètre carré de section; il est évident qu'il se remplira jusqu'au niveau de l'huile dans le vase, de sorte que si on l'enfonce assez profondément pour que l'extrémité inférieure vienne toucher la surface de l'eau *W*, il contiendra tout juste 1^k033 d'huile, et la surface de l'eau sera, comme avant l'immersion du tube, chargée d'un poids de 1^k033 au-dessous de l'ouverture du tube, de même que sur tous les autres centimètres carrés. Dès-lors si, au moyen du piston introduit dans ce tube, nous soulevons le 1^k033 d'huile qu'il contient, il est clair que l'eau va suivre la surface inférieure du piston, c'est-à-dire s'élever dans le tube jusqu'à ce qu'il s'en soit introduit un poids égal, ce qui

exigera qu'elle s'élève, non plus à $11^m 3$, comme l'huile, mais à $10^m 4$ seulement, parce que son poids spécifique est plus considérable, c'est-à-dire qu'elle viendrait se mettre au niveau qu'elle a atteint dans le tube *wi*, lors de la dernière expérience. — De même, lorsqu'un tube ouvert par ses deux extrémités plonge dans l'eau par sa partie inférieure, la partie supérieure restant dans l'air, l'air presse la surface de l'eau dans le tube, autant que cette même surface hors du tube; soumise alors à deux forces égales et contraires, elle prend simplement son niveau dans ce tube et le conserve; mais vient-on, au moyen d'un piston, faire le vide dans la partie supérieure, c'est-à-dire anéantir la pression qui s'exerçait sur cette partie, alors, comme dans l'expérience précédente, l'eau à l'extérieur du tube, pressée par l'air comme elle l'était par l'huile, s'élève et suit le piston jusqu'à la hauteur de 32 pieds ou $10^m 4$, où elle s'arrête sans pouvoir s'élever davantage. Ce serait donc encore là une pompe aspirante.

5° Prenons une bouteille ordinaire ou tout autre vase de forme quelconque, le tube recourbé *e* par exemple, et remplissons ce tube avec de l'eau; enfonçons-le dans l'huile jusqu'à ce que son orifice ou ses orifices atteignent le niveau de l'eau *W*, nous verrons que ce tube restera plein, en vertu de la pression de l'huile qui agit de tous côtés. — De même une bouteille commune, un tube rempli de liquide et dont les orifices plongent dans l'eau, le reste de son volume étant dans l'air, ne peut point se vider; et si l'une des branches du tube est plus longue que l'autre, il se forme un courant qui monte dans la branche la plus courte et redescend par la branche la plus longue : c'est ce qu'on appelle un *syphon*.

6° Le poisson qui serait plongé dans l'eau *W* suppor-

terait non seulement le poids de l'eau située au-dessus de lui, mais encore celui de l'huile placée au-dessus d'elle. — De même le poisson plongé dans l'eau exposée à l'air libre, est comprimé non-seulement par le poids de celle-ci, mais encore par celui de l'atmosphère, équivalent, comme nous le savons, à un kilogramme environ par centimètre de surface. On remarque, en effet, qu'en plaçant un poisson dans un bassin d'eau sous la machine pneumatique, et faisant le vide, sa vessie natatoire qu'il porte inférieurement se gonfle immédiatement, et le poisson est retourné le ventre en l'air.

7° Pour séparer les hémisphères de Magdebourg, ou pour produire le vide d'une manière quelconque sous le niveau de l'eau *W*, il faudrait, en supposant l'huile non pressée par l'atmosphère, développer une force équivalente au poids de l'huile, plus celui de l'eau; de même, pour séparer dans l'eau ces hémisphères, il faudrait une dépense de force de 1 kilogramme environ pour chaque centimètre carré, à cause du poids de l'atmosphère, plus un effort capable de vaincre le poids de l'eau, qui dépendrait alors de la profondeur de l'immersion et de la dimension des hémisphères.

Les remarques suivantes compléteront ce que nous n'avons fait qu'indiquer.

Jeu de la pompe aspirante. La figure 27 donnera une idée suffisante de cette machine. *a b* est le corps de pompe, *c* le piston qui se meut dans toute sa longueur et qui en remplit bien exactement la capacité en le parcourant de bas en haut et réciproquement. Ce piston porte une soupape qui s'ouvre de bas en haut, et le tuyau qui termine inférieurement la pompe, et qu'on appelle tuyau d'aspiration, est lui-même fermé à sa

partie supérieure par une soupape *b*, qui s'ouvre aussi de bas en haut. Cela posé, supposons que le piston soit d'abord descendu jusqu'au fond du corps de pompe, et qu'une force appliquée à la tige le soulève jusqu'à la partie supérieure ; l'air contenu d'abord dans le tuyau d'aspiration soulèvera par son ressort la soupape *b*, et se répandra dans le corps de pompe, perdant ainsi en force élastique ce qu'il gagne en volume, et la soupape *b* se refermera par son propre poids. On abaisse alors le piston jusqu'au fond ; il condense l'air à mesure qu'il descend; celui-ci, à cause du ressort qu'il acquiert, soulève la soupape du piston, et passe ainsi de la partie inférieure du corps de pompe à la partie supérieure; et la soupape du piston se referme par son poids ; on élève de nouveau le piston, et tandis que l'air est chassé alors par le tuyau *d*, l'eau extérieure dans laquelle plonge le tuyau d'aspiration, pressée par l'atmosphère, mais ne rencontrant plus d'opposition dans le tuyau d'aspiration, s'y élève et atteindrait même une hauteur de 10^m4, si le vide était parfait (ce qui n'a point lieu) ; toutefois, elle s'introduit en soulevant la soupape *b* jusque dans le corps de pompe, et cette soupape, lorsque l'équilibre entre la pression intérieure et extérieure s'est établi, se referme par son poids; on abaisse le piston, sa surface inférieure presse le liquide, qui ne peut plus s'échapper par en bas, la soupape du piston s'ouvre alors, laisse monter le liquide au-dessus d'elle, et cette soupape se referme ; élevant alors de nouveau le piston, il soulève l'eau jusqu'au tuyau d'écoulement *d*, par lequel elle s'échappe; et le même effet se reproduit par les mêmes causes, toutes les fois que le piston, après avoir été abaissé jusqu'au fond du corps de pompe, remonte à sa partie supérieure. — On attribuait cette ascension de l'eau, ainsi que nous l'avons vu, à une es-

du niveau de l'eau, ne pourrait jamais servir à transvaser ce liquide. Remarquons cependant que, dans cet instrument, il est peu important que l'une des branches ait un diamètre plus grand que l'autre, qu'elle soit contournée ou ne le soit pas : tout dépend, comme nous l'avons vu, de la hauteur *verticale* des colonnes fluides. C'est ce dont il est facile de s'assurer par une expérience d'ailleurs fort curieuse, et qui conduit à un fait qu'on pourrait appeler *paradoxe du syphon*, avec autant de raison qu'on a appelé *paradoxe hydrostatique* l'action du soufflet de la figure 3. Cette expérience consiste à renverser ce soufflet sens dessus dessous, lorsqu'il a été préparé comme pour l'expérience de la figure 3; alors, le tube *b a* devient la longue branche d'un syphon, et l'écoulement qui a lieu à son extrémité inférieure *a*, détermine le plateau *d* à se soulever; de sorte que ce plateau, en s'élevant, pourrait soulever de bas en haut, dans cette expérience, le poids qu'il soulevait de bas en haut dans la première. On pourrait de même (*figure* 2) renverser le tonneau *a* après l'avoir rempli d'eau, et l'écoulement qui aurait lieu par *b* déterminerait tout aussi bien la rupture du tonneau; seulement, il faut remarquer que dans la première expérience elle avait lieu de dedans en dehors, mais qu'elle s'effectuerait dans celle-ci de dehors en dedans.

Le syphon est surtout employé pour transvaser, sans les troubler, les liquides dans lesquels il se forme un dépôt, ou bien encore lorsqu'on veut éviter de percer à son fond le vase qui les renferme. On viderait un lac ou un étang au moyen d'un syphon, presque aussi facilement qu'une tasse, et M. Lebrun, dans l'année 1803, fit passer l'eau de la Moselle de l'amont à l'aval d'une digue qu'il s'agissait de réparer, au moyen d'un syphon de 8 centimètres de diamètre. Pour amorcer de tels sy-

phons, on les ferme aux deux bouts et on les remplit d'eau par le sommet.

La construction d'un petit joujou assez curieux, connu sous le nom de *vase de Tantale*, est fondée sur la théorie du syphon. Cet appareil consiste en une petite statue qui cache dans son intérieur un syphon disposé de la manière suivante : la courte branche s'élève du talon de la statue jusqu'à son menton ; de là elle redescend dans l'autre jambe, et traverse le support d'un verre à pied, dans lequel on introduit la statue, pour s'aller rendre dans un petit réservoir sur lequel ce verre repose : on conçoit que cette branche de retour est la plus longue branche du syphon. Cela posé, si l'on verse de l'eau dans le verre de manière à ne pas dépasser le menton de la statue, on n'observe rien de particulier ; mais, dès que la liqueur monte jusqu'à ses lèvres, le verre commence à se vider par le bas sans qu'on s'en doute, et l'on a beau verser de l'eau, on ne parvient jamais à le remplir.

Dans l'infinie variété des conduits souterrains à travers lesquels les eaux serpentent dans les entrailles de la terre, il en est quelques-uns qui ont la forme de syphons, et reproduisent alors les effets singuliers du vase de Tantale ; telle est la cause des fontaines ou sources intermittentes. Ces fontaines, qu'on rencontre en Allemagne, en Angleterre, en Italie, en France, surtout en Languedoc, coulent alternativement pendant un jour ou deux, puis cessent pendant trois ou quatre jours, pour recommencer ensuite. Les périodes d'écoulement reviennent plus ou moins fréquemment, selon la grandeur relative du réservoir et du conduit. Ce réservoir est une cavité produite dans la terre, et qui se remplit par l'infiltration des eaux pluviales ; lorsque les eaux atteignent la hauteur du point le plus élevé du conduit, l'écoule-

ment a lieu comme pour le syphon, et le réservoir se vide jusqu'au niveau de la courte branche de ce syphon; il cesse dès qu'elles ont atteint ce niveau, pour recommencer ensuite lorsque de nouvelles infiltrations les font monter de nouveau jusqu'au coude supérieur. On voit que lorsque le syphon est en action, l'écoulement est plus considérable que l'alimentation du réservoir, sans quoi il serait continu. Il y a d'autres fontaines qui donnent de l'eau constamment, mais qui éprouvent, à des époques plus ou moins régulières, un accroissement considérable; c'est qu'alors une source ordinaire ou continue est en communication avec une fontaine ou source intermittente.

On verra dans la section médicale l'application que l'auteur a faite du syphon à l'opération de la taille; application qui détruit les objections qu'on pouvait opposer à la taille hypogastrique ou par le haut appareil.

Les faits suivans serviront de complément à ce que nous avons déjà dit de l'influence de la pression atmosphérique sur les liquides.

Si l'on renverse sur de l'eau chaude un long verre rempli de gelée, de manière que son orifice plonge de quelques lignes au-dessous du niveau de l'eau, on ne tardera pas à voir la gelée faire place au liquide qui s'élèvera jusqu'au sommet du verre renversé. La gelée étant plus lourde que l'eau du vase, s'y enfonce à mesure que la chaleur la fait fondre, et la pression atmosphérique agissant sur la surface de l'eau, la chasse jusqu'au fond du verre.

Les esclaves des Indes occidentales mettent cette loi à profit pour voler du rum, dont ils sont très-friands; ils introduisent dans le baril, et par la bonde, une bouteille terminée par un long col étroit et complètement remplie

d'eau, en la renversant sens dessus dessous : l'eau ayant un poids spécifique plus grand que le rum, tombe au fond du baril et se trouve remplacée par une égale quantité de la liqueur spiritueuse ; beaucoup plus légère qu'elle.

Le petit réservoir de verre (*fig.* 31) qu'on place ordinairement dans les cages où l'on retient des oiseaux, n'a qu'une ouverture fort étroite *b*, pour établir la communication entre l'abreuvoir *c* et le réservoir proprement dit *a* ; l'eau ne peut s'en échapper que lorsque son niveau en *c* est assez bas pour que l'air puisse passer par le canal *b* ; tant qu'il n'en est pas ainsi, on n'a point à craindre de débordement, parce que la pression atmosphérique retient l'eau dans ce réservoir, quelle que soit la hauteur qu'on puisse donner à l'appareil dans les circonstances ordinaires. — On construit sur ce principe des encriers fort commodes, et qui conservent parfaitement l'encre, parce que la surface exposée à l'air est fort petite ; comme le réservoir est d'une assez grande dimension, on n'a que fort rarement l'ennui de les remplir.

Dans la plupart des lampes ordinaires l'huile est, de la même manière, retenue dans un réservoir placé au-dessus de la flamme, et dont l'orifice est dirigé en bas ; mais cet orifice plonge lui-même dans une autre capacité remplie d'huile, dont le niveau est à peu près celui de la flamme. On voit que l'huile ne doit passer du réservoir dans cette capacité qu'à mesure qu'elle se consume, et qu'alors le niveau est toujours à fort peu près constant.

Nous n'avons considéré jusqu'ici que l'influence du poids direct de l'atmosphère, c'est-à-dire la pression qu'elle exerce de haut en bas sur les liquides ; voici quelques

exemples familiers qui serviront à montrer que cette pression s'exerce dans tous les sens.

Qui n'a point remarqué qu'en perçant avec une vrille le fond d'un tonneau parfaitement rempli de vin, le liquide ne s'écoule point; on doit comprendre aujourd'hui que ce phénomène est le résultat de la pression atmosphérique qui s'oppose à la sortie du liquide. — Si le trou pratiqué dans le fond du tonneau était cependant d'un assez grand diamètre, l'écoulement aurait lieu, parce que l'air s'introduirait d'un côté pendant que la liqueur s'écoulerait de l'autre : il est toujours plus simple de percer un trou au sommet ou d'ouvrir la bonde, parce qu'alors l'air pressant le niveau supérieur du liquide autant qu'il presse à l'orifice pratiqué dans le fond, le liquide s'écoule alors par son propre poids.

Une bouteille de vin ne se vide que parce que l'air, en divisant le liquide qui se présente au goulot, va occuper le fond de la bouteille en produisant ces *glou-glou* qui réjouissent le cœur de l'ivrogne.

Cela est si vrai qu'il suffit, pour empêcher l'écoulement, de placer un petit cercle de papier sur l'ouverture de la bouteille, de la renverser ensuite sens dessus dessous pendant qu'on applique contre le disque de papier la paume de la main, qu'on ôte ensuite. Cette expérience se fait très-bien sur un verre à vin de Champagne rempli d'eau jusqu'au bord, le disque de papier s'oppose à la division de la colonne liquide qui se trouve ainsi suspendue, et le serait encore quand bien même le verre aurait trente pieds de profondeur.

Les *corps organisés* sont composés de solides et de fluides; nous devons donc retrouver chez eux des phénomènes dépendans de la pression de l'atmosphère. On a quelque peine à concevoir que le corps d'un homme

soit constamment soumis à une pression de un kilogamme par centimètre carré, ce qui donne pour la somme des pressions partielles une compression d'environ quinze mille kilogrammes. —Quelque extraordinaire que ce fait puisse paraître, il n'en est pas moins réel, et si plongés dans l'atmosphère, nous ne doutons point, pour la plupart, de cette énorme compression à laquelle nous sommes soumis, c'est qu'elle est très-parfaitement distribuée sur tous les points de la surface du corps; elle pourrait considérablement augmenter, doubler, tripler même, comme dans la cloche du plongeur, sans que nous nous en doutassions davantage; —mais qu'est-ce que cette compression d'ailleurs comparativement à celle à laquelle les poissons se trouvent soumis dans les profondeurs de l'Océan? Cependant ils se meuvent à l'aise, grâce à cette égale distribution sur toute la surface de leurs corps, là où un vase de verre se brise en mille pièces lorsqu'on l'immerge sans le remplir. C'est donc à cette égale répartition du poids de l'atmosphère que l'homme doit de se mouvoir librement au milieu d'un fluide qui brise à l'instant même les enveloppes dans lesquelles on fait le vide, et qui défonce subitement ces immenses chaudières de fonte des machines à vapeurs, lorsque, par l'effet de quelqu'accident imprévu, le vide se forme dans leur intérieur, ou que la vapeur cesse par sa tension de résister à cette compression de l'extérieur.

Cette énorme pression atmosphérique, qu'on ne remarque point dans les circonstances ordinaires, peut être renduo fort sensible par le raisonnement et par l'expérience. Nous savons, par exemple, qu'un tube plongé partiellement dans l'eau, se remplit de liquide jusqu'au niveau du milieu dans lequel il est immergé; tout le poids du liquide qu'il contient est donc supporté

par les couches inférieures situées au-dessous de son extrémité plongée, c'est-à-dire, comme nous l'avons expliqué plus haut, qu'elles poussent de bas en haut avec une force précisément égale au poids de la colonne liquide renfermée dans le tube. — Cela posé, supposons qu'un poisson plat soit placé précisément au-dessous de cette extrémité inférieure, il est évident qu'il portera sur son dos tout le poids de cette colonne liquide; mais il ne serait pas pour cela poussé de haut en bas, il ne sentirait même point cette pression, car celle qui s'exerce de bas en haut au-dessous de lui, y ferait équilibre, et il en serait de même de toutes les pressions latérales; mais si le poisson restant dans la position indiquée, on extrayait du tube, à l'aide d'un piston, toute l'eau qu'il contient, la pression de bas en haut n'étant plus contrebalancée, le corps de l'animal se trouverait poussé dans le tube avec une force énorme, et peut-être mis en pièces par la résistance des limites de sa section; à une profondeur moindre, ces effets seraient sans doute moins terribles pour lui; cependant toute sa partie supérieure se renflerait encore et ferait effort pour aller occuper le vide du tube. — Dans l'air et sur le corps humain, des effets complètement analogues se reproduisent: on peut, avec la main et sans aucune douleur, sans éprouver de sensation particulière, fermer l'extrémité d'un tube ouvert, ou l'orifice d'un vase quelconque rempli de fluide atmosphérique; mais au moment où on fait le vide dans le vase, la pression qui s'exerce à l'extérieur n'étant plus contrebalancée, la main se trouve fixée sur l'orifice du vase, la peau se soulève du côté où le vide est fait, et le sang passe au dehors à travers la plus légère piqûre faite à la partie soumise à l'action pneumatique.

Telle est l'action des *ventouses*; leur application est une

opération de chirurgie assez connue sans doute de tous nos lecteurs. En faveur de ceux qui n'en auraient point une idée bien exacte, nous dirons cependant que cette opération consiste dans l'application d'une petite coupe hémisphérique terminée par un rebord arrondi, qu'on retourne sens dessus dessous sur la partie qu'on veut opérer; on extrait une partie de l'air renfermé sous la coupe, soit à l'aide d'une petite pompe d'exhaustion fixée à l'appareil, soit de toute autre manière. On peut se former une idée assez juste de l'effet produit par cette exhaustion, en considérant une petite bouteille de gomme élastique remplie de fluide, et qu'on presserait avec les mains dans toutes les parties de sa surface, une seule exceptée. Cette partie se soulèverait évidemment et crèverait même si la pression était assez forte; — de même, dans l'application des ventouses, le corps entier est soumis à une pression de un kilogramme par centimètre carré, la partie placée sous la coupe exceptée, puisque là on a fait le vide, ou du moins l'on est parvenu à un certain degré d'exhaustion; la peau se soulève donc en raison de cette exhaustion, et le sang afflue de toutes parts. Lorsqu'on se contente d'appliquer la coupe et de faire le vide, l'appareil prend le nom de *ventouse sèche;* mais quelquefois on profite de cet afflux de sang pour faire une saignée locale; dans ce cas, on soulève la coupe après avoir opéré comme pour une ventouse sèche, et la partie renflée de la peau est attaquée à la fois et subitement par un certain nombre de lancettes réunies; on replace alors la coupe, et poussé de tous côtés, excepté sous la coupe, le sang jaillit avec une force d'autant plus grande que l'exhaustion est plus parfaite. On se contente souvent, au lieu de la pompe d'exhaustion pour obtenir ce vide partiel, de brûler dans la coupe une petite quantité d'esprit-de-vin; on l'applique au moment même où

la combustion s'est emparée de la plus grande partie de l'air qu'elle contenait. La bouche, par la succion, devient une petite ventouse; elle servait autrefois à cet usage dans les cas de blessures empoisonnées. Quelque perfectionnés que soient aujourd'hui nos appareils, ils ne sont pas encore employés aussi souvent qu'ils le pourraient être avec avantage; — dans le cas de morsures, par exemple, faites par des hydrophobes ou des animaux venimeux.

L'auteur a étendu et modifié l'opération de la ventouse sèche, dans le but de la substituer à la saignée dans quelques cas de maladies inflammatoires, etc.; il reviendra, dans la section médicale de cet ouvrage, sur cette modification, qu'il regarde comme un perfectionnement utile. — La pression atmosphérique produit sur les animaux un effet très-remarquable, et qui semble échapper aux observateurs ordinaires; nous voulons parler de sa coopération pour maintenir les diverses articulations sur lesquelles elle agit bien réellement, comme dans l'expérience des hémisphères de Magdebourg. Les larges surfaces des os qui forment l'articulation du genou, par exemple, sont, indépendamment des ligamens, retenues l'une contre l'autre avec une force de près de cinquante kilogrammes, tant que la capsule qui entoure l'articulation empêche l'air de s'y introduire; mais au moment où il pénètre dans la cavité articulaire, les os se séparent immédiatement à une certaine distance. — Cette action de l'atmosphère est encore bien plus importante dans l'articulation de l'épaule: lorsqu'une dislocation a lieu, il ne se forme point un vide, comme on pourrait le croire, car la cavité que l'os a abandonnée se remplit aux dépens des parties molles qui l'environnent. Dans la dislocation du fémur, cette cavité profonde, qu'on appelle *cavité cotyloïde*, exerce à l'in-

stant même l'action d'une ventouse, elle se remplit partie de fluides, partie des solides mous environnans. Dans toutes les articulations, en un mot, c'est la pression de l'atmosphère qui, indépendamment des ligamens, retient les os dans un contact si parfait qu'ils roulent doucement les uns sur les autres et sans bruit.

Le *baromètre*, d'après ce que nous avons vu plus haut, n'est autre chose qu'un tube renfermant une colonne fluide dont la pression atmosphérique détermine la hauteur, et qui dès-lors indique très-exactement cette pression. Cet instrument est devenu d'une telle importance, il a fait faire de si grands pas à la science, il est d'ailleurs si commun aujourd'hui, que nous devons ici nous arrêter un moment sur sa construction et ses usages, en faveur de ceux qui n'en ont qu'une idée imparfaite.

Soit figure 32, *c a d b e*, un tube ouvert à ses deux extrémités; si l'on remplit ce tube de mercure, la pression atmosphérique s'exerçant également de part et d'autre, il est évident que le mercure prendra le même niveau dans les branches. Cependant faisons le vide dans la branche *a*, c'est-à-dire chassons-en l'air, soit au moyen d'un piston, soit de toute autre manière, la pression atmosphérique cessant d'agir de ce côté, tandis que son action s'exercera toujours sur l'autre branche, il est clair que le mercure s'élèvera dans la branche *a*, jusqu'à ce que par son poids propre il fasse équilibre à la pression atmosphérique, que nous savons être de $1^{k}.033$ par centimètre carré; or l'expérience montre que cette hauteur du niveau du mercure dans la branche *a* au-dessus de celui du mercure contenu dans la branche *b*, est d'environ 760 millimètres; cette hauteur serait celle d'une colonne de mercure qui presserait le corps sur lequel sa base serait appuyée, avec une force de $1^{k}.033$ par centimètre carré. Cela bien compris, fermons l'extré-

mité supérieure de la branche *a* lorsque nous aurons fait le vide, retranchons d'un autre côté toute la partie supérieure *b c* de la branche *b* qui nous est inutile, et nous aurons une idée très-juste du baromètre ordinaire. Rappelons-nous bien toutefois qu'on entend par hauteur du mercure dans le baromètre, *l'excès* de la colonne de la longue branche sur la plus courte, et non la hauteur absolue comptée du coude jusqu'en *c*.

Quelquefois on place au-dessus de l'orifice *d* de la plus courte branche, une petite poulie parfaitement mobile, qui a même axe qu'un cadran derrière lequel elle est placée. Cette poulie correspond à une aiguille destinée à parcourir les divisions du cadran, à peu près comme celle d'une pendule; sa gorge est entourée d'un fil, aux extrémités duquel sont suspendus deux petits poids, dont l'un flotte sur le mercure en *d*, et dont l'autre tombe librement au dehors. Ces poids sont calculés de manière à se faire équilibre. On voit que lorsque le mercure s'abaisse dans le baromètre, le petit flotteur s'abaisse avec lui, et l'aiguille tourne dans un sens; c'est le contraire quand il s'élève. Tel est à peu près le *baromètre à cadran*, qu'on voyait autrefois orner les murailles d'un grand nombre d'appartemens. Nous ferons remarquer qu'il est utile, avant d'observer ce baromètre, de le frapper doucement, mais un peu brusquement, afin de vaincre le frottement des différentes pièces les unes sur les autres.

De même, figure 33, qu'une certaine quantité d'eau renfermée dans le fond de la cuve cylindrique *a*, et pressée par le piston *b c* dont la tige *d* serait creuse, s'élèverait dans cette tige à une hauteur qui dépendrait de la pression exercée sur le piston; de même, si l'on plonge un tube barométrique, purgé d'air et fermé par le haut, dans une cuve remplie de mercure, le mer-

cure s'y élève, parce que toute sa surface est soumise à la pression atmosphérique. Il suffirait donc, pour construire un baromètre, de se procurer un tube de verre de un mètre de longueur au plus, de le fermer par une de ses extrémités, de le remplir complètement de mercure, puis de le renverser dans une petite cuve remplie de cette substance, de manière à y plonger son extrémité ouverte, qu'on boucherait avec le doigt avant l'immersion.—Le mercure du tube se répandrait en partie dans la cuve, en laissant dans le haut un espace vide, et il est évident que sa hauteur au-dessus du niveau de la cuve indiquerait très-exactement la valeur de la pression atmosphérique. Nous avons vu dans l'hydrostatique qu'il était d'ailleurs peu important que le tube fût incliné ou ne le fût pas, qu'il fût d'un grand ou d'un petit diamètre, la hauteur perpendiculaire au-dessus du niveau de la cuve mesurerait seule la pression atmosphérique. Telle est l'idée qu'on peut se faire du *baromètre à cuvette.*

Galilée avait trouvé que l'eau ne s'élevait sous le piston d'une pompe, qu'à la hauteur de trente-deux pieds, ou 10^m4 au plus. — Son élève Torricelli, soupçonnant que ce phénomène pouvait bien être l'effet de la pression de l'air, jugea que s'il en était ainsi, le mercure, qui est environ quatorze fois aussi lourd que l'eau, ne s'élèverait dans un tube, et sous la même influence, qu'à un quatorzième environ de la hauteur de l'eau dans les corps de pompe.— Il tenta l'expérience que son génie lui avait suggérée, et le baromètre fut inventé. Pour se convaincre encore mieux que le poids de l'atmosphère était bien réellement la cause du phénomène, il porta son tube au sommet des bâtimens et des montagnes, où la pression devait diminuer de tout le poids des couches inférieures; et il vit en effet le mercure s'abaisser dans le tube à

mesure qu'il s'élevait, puis remonter à mesure qu'il descendait. — Enfin, il remarqua que, suivant les diverses hauteurs auxquelles les pompes étaient situées, leur action ou puissance était parfaitement d'accord avec la loi importante que son tube lui avait découverte.

Mais des observations faites avec soin ne tardèrent point à montrer que pour un même lieu le même baromètre indiquait, suivant certaines circonstances, des hauteurs très-sensiblement différentes, ou, en d'autres termes, indiquait pour un même lieu des variations dans le poids de l'atmosphère : phénomène curieux, qu'on n'eût jamais soupçonné, peut-être, sans le secours de cet appareil. — D'autres observations conduisirent enfin à penser que le mercure s'élevait dans l'instrument lorsque le temps tournait au beau et au sec, qu'il s'abaissait au contraire avant la pluie et la tempête : — et ce petit tube de verre devint, en quelque sorte, un prophète des volontés célestes, que l'agriculteur et le marin consultèrent avec confiance.

On comprendra mieux, quelques pages plus loin, la cause de cet abaissement du baromètre avant la pluie et la tempête; mais nous ferons remarquer ici que lorsque l'eau qui était suspendue dans l'atmosphère et confondue avec elle, se précipite sous la forme de la pluie, le poids et le volume de la masse fluide décroissent; le vent doit alors souffler vers cette région, car il est de nécessité que lorsqu'une condensation subite de substances aériformes a lieu dans une masse fluide, toutes les autres parties de la masse se précipitent là où la pression est moindre, afin de rétablir l'équilibre.

Le baromètre dirige l'agriculteur dans les pronostics qu'il tire de certains signes locaux qui lui sont familiers; c'est pour lui un moniteur constant, un aide qui ne se repose jamais, et dont les services sont aussi

Digitized by Google

importans que peu dispendieux; mais de quelle utilité n'est-il pas pour le marin errant sur le vaste Océan, sous des climats nouveaux pour lui, où tout indice lui est refusé? Le capitaine habile se confie de nos jours à ce petit instrument, c'est lui seul qui souvent donne l'ordre de serrer les voiles et de se préparer à la tempête, tandis qu'il y a encore peu d'années elle venait fondre sur vous à l'improviste, au milieu de la plus parfaite sécurité. Disons-le toutefois, le baromètre marin n'est point encore d'un usage assez général, et cependant l'auteur de cette mécanique a fait partie d'un nombreux équipage qui ne doit la vie qu'à ses avertissemens presque miraculeux. C'était dans une mer du Sud, le soleil venait de plonger majestueusement dans l'Océan, après une journée magnifique, et chacun, suivant l'usage, se préparait à jouir des plaisirs auxquels dispose dans ces climats la fraîcheur de la soirée, lorsque le capitaine vint troubler la fête par un ordre formel de se préparer en toute hâte pour la tempête. — Le baromètre venait de s'abaisser avec une rapidité effrayante. — Jusque-là cependant les plus vieux marins n'avaient vu dans le ciel aucun indice menaçant, et tout en obéissant avec ordre et précision aux commandemens du capitaine, ils ne pouvaient s'empêcher, sous un ciel pur et tranquille, de s'étonner de la rapidité avec laquelle les divers ordres se succédaient, et des précautions presque minutieuses qu'il leur était commandé de prendre. — Cependant tous les préparatifs nécessaires n'étaient point encore terminés, lorsqu'un ouragan effroyable, et tel qu'ils n'en avaient jamais bravé, fondit sur nous; rien ne put y résister. — Les voiles déjà ferlées et solidement fixées aux vergues se fendirent en lambeaux; vergues et mâts eux-mêmes cédèrent pour la plupart à la tempête, et bientôt tout le gréement fut emporté par dessus bord. — Tels

furent pendant quelques heures la fureur de l'ouragan, le mugissement des vagues, et le grondement continu du tonnerre, qu'aucune voix ne se pouvait faire entendre; le porte-voix lui-même tonnait en vain au milieu de la consternation générale.—Sans ce tube magique, pas un de nous n'eût vu se terminer cette nuit affreuse, et toute la force du noble vaisseau, toute l'habileté du capitaine, toute l'énergie des matelots, n'eussent opposé à la tempête qu'une résistance inutile.—Le vent se calma avec l'aurore, et nous pûmes mesurer alors toute l'étendue du désastre. — Ce n'était plus qu'une carcasse flottante qui nous portait sur une mer en fureur.

Le baromètre marin diffère de celui dont on se sert à terre; son tube étranglé dans une partie de sa longueur, se réduit à un diamètre assez petit pour prévenir les mouvemens subits que prendrait le mercure avec les agitations du vaisseau.

La civilisation de l'Europe a tellement familiarisé les habitans, même les moins éclairés, avec le baromètre et quelques-uns de ses usages, qu'il est difficile pour eux de concevoir l'étonnement dont restent frappés ceux qui n'ont aucune idée de ce précieux instrument. — Un Chinois à qui l'auteur montrait un jour un baromètre marin dont il lui expliquait l'usage, lui répondit que sans doute c'était un présent que le Dieu des chrétiens leur avait fait, par pitié pour leur manie d'entreprendre de longs et périlleux voyages sur des mers inconnues.

Le baromètre est encore un instrument précieux pour les ouvriers qui travaillent dans les mines où le *gaz hydrogène* se dégage. Lorsque le poids de l'atmosphère diminue, ce gaz, déchargé d'une partie de la pression à laquelle il était soumis, sort des crevasses où il était retenu, et se répand dans les galeries de la mine, où son contact avec la flamme des lampes détermine de bien

funestes explosions. Lorsque le poids do l'atmosphère augmente, au contraire, le gaz est contenu dans ses limites, et le mineur avance avec sécurité.

Nous voyons, d'après cela, qu'un réservoir quelconque rempli de gaz servirait de baromètre, au besoin, en terminant ce réservoir par un tube dans lequel pourrait se mouvoir un piston parfaitement mobile et imperméable à l'air; car selon que la pression extérieure augmenterait ou diminuerait, la densité de l'air intérieur varierait aussi, et les positions différentes du piston indiqueraient la valeur do ces variations. On a même construit sur ce principe un fort joli baromètre. — Le réservoir est un vase de verre terminé par un tube long et étroit, dans lequel un globule de mercure fait l'office de piston.

Le poids de l'atmosphère varie assez dans une même situation, pour produire une différence de trois ou quatre pouces dans la hauteur de la colonne. Les limites des plus grandes variations dans nos climats, sont de vingt-six à vingt-neuf pouces environ. Cependant, lors du célèbre tremblement de terre de Lisbonne, le mercure s'abaissa dans le tube barométrique, au point que son niveau, même en Angleterre, se trouva au-dessous de la limite inférieure de la partie qu'on laisse ordinairement découverte pour l'observation. Cette partie a aujourd'hui de cinq à six pouces de hauteur; elle porte une échelle divisée, qui indique le nombre de pouces dont le niveau supérieur du mercure se trouve au-dessus du niveau inférieur. On a conservé, même en France, l'usage de diviser cette échelle en pouces, et d'y marquer les subdivisions en lignes. On écrit le mot *variable*, à 28 pouces; *beau temps*, à 28 pouces 4 lignes; *beau fixe*, à 28 pouces 8 lignes; *très-sec*, à 29 pouces; *pluie* ou *vent*, à 27 pouces 8 lignes; *grande pluie*, à 27 pouces 4 lig.;

tempête, à 27 pouces. On indique aussi les époques auxquelles les mouvemens ont été les plus remarquables : à 26 pouces 2 lignes, le 25 décembre 1821 ; à 26 pouces 8 lignes, le 22 novembre 1756, etc. Remarquons, toutefois, que chaque pays a son terme moyen barométrique, selon sa hauteur au-dessus du niveau des mers et sa latitude ; la division que nous avons indiquée ici est pour Paris. — Du reste, c'est moins la hauteur absolue du mercure dans le tube qu'il faut considérer, que les variations récentes de cette hauteur. Un baromètre *qui s'abaisse* est un indice de vent ou de pluie, un baromètre *qui s'élève* promet au contraire un temps sec et serein.

Le baromètre est non-seulement un instrument de *météorologie* fort précieux, il sert, en outre, à mesurer la hauteur des divers lieux au-dessus du niveau des mers, ou la différence de niveau d'un système de points quelconques à la surface du globe.

Puisque la colonne mercurielle du baromètre est constamment la mesure du poids de l'air situé au-dessus d'elle, ou, en d'autres termes, puisque cette colonne a toujours même poids que la colonne d'air de même base qui repose sur elle et s'élève jusqu'à la dernière limite de l'atmosphère, il faudra bien que le mercure s'abaisse lorsqu'on portera le baromètre d'une situation inférieure à une situation supérieure, et la valeur de cette dépression sera nécessairement celle du poids de la colonne d'air que l'observateur aura laissée au-dessous de lui. — S'il avait trouvé, par exemple, que la colonne barométrique avait une hauteur de 28 pouces au niveau de l'Océan, et qu'elle perdît sept pouces de sa hauteur au sommet d'une montagne, il serait évident qu'il aurait laissé au-dessous de lui un quart de la masse atmosphé-

rique. Si notre atmosphère, do même que l'Océan, était partout d'une densité à peu près uniforme, les dépressions égales du mercure indiqueraient aussi des différences égales de niveau, et le plus simple calcul ferait connaître la hauteur à laquelle on s'est élevé : — L'air à la surface de la terre étant 10466 fois plus léger que son volume de mercure, une dépression de un pouce dans la colonne barométrique indiquerait partout une différence de niveau de 10,466 pouces, ou 872 pieds, ou 145 toises environ. Mais il n'en est pas ainsi; l'air, en vertu de son élasticité, augmente de volume à mesure que la pression diminue, de sorte que l'atmosphère devenant de plus en plus rare à mesure qu'on s'élève, la diminution de poids n'est pas constamment en rapport avec la hauteur. — La règle qu'on tirerait du calcul ci-dessus, et qui donne deux lignes d'abaissement de la colonne mercurielle pour vingt-cinq toises d'élévation, ou un millimètre pour dix mètres et demi, ne peut donc être regardée que comme une fort grossière approximation, qu'on ne peut même guère employer que pour de très-petites élévations au dessus du niveau des mers. Cependant le calcul exact est, dans tous les cas, assez facile, et un bon baromètre muni d'un thermomètre placé dans sa monture, quelques tables et une formule algébrique déduite de toutes les circonstances qui peuvent influer sur le résultat, nous permettent aujourd'hui de déterminer ces élévations tout aussi correctement et avec beaucoup plus de facilité que par la géométrie (1).

(1) On trouve chaque année dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes, des tables fort commodes, calculées par M. Oltmans, au moyen desquelles on résout facilement, à l'aide du baromètre, cet important problème des différences de niveau. Nous ne pouvons toutefois nous dispenser de donner ici la formule très-exacte de Laplace, modifiée

Le poids de l'Océan atmosphérique qui enveloppe la terre, étant équivalent à celui d'une couche d'eau de

---

par Ramond, et qui dispense de ces tables. Comme elle est assez compliquée, nous l'appliquerons à quelques exemples :

a est un nombre constant = 18393 mèt., dont le logarih. est 4.2646527.

Si l'on fait le calcul en toises,

a . . . . . = 9437 toises . . . logarith. = 3.9748326.

α autre nombre constant = 0.0028371. . . . logarith. = $\overline{3}$.45287.

h' = hauteur du baromètre à la station inférieure . . . . . } Rapportées à la même unité (mètres, toises ou pouces), suivant qu'on veut avoir la différence de niveau en mètres ou en toises;

h = hauteur du baromètre à la station supérieure . . . . . }

t' = température d'un thermomètre centigrade à l'air libre et à la station inférieure.

t = température d'un thermomètre à l'air libre et à la station supérieure.

θ = excès de température du thermomètre du baromètre, qu'on obtient en retranchant la température du mercure à la station supérieure de celle qu'il a à la station inférieure. } Cette différence est indiquée par un petit thermomètre placé dans la monture du baromètre.

l = latitude du lieu.

Z = différence de niveau des stations.

Cela posé, on a

$$Z = a\,(\log. h' - \log. h - 0.00008\,\theta)\,[1 + 0.002\,(t' + t)]\,(1 + \alpha \cos. 2\,l).$$

Appliquons cette formule aux observations faites par Ramond, au Puy-de-Dôme, dont la latitude est 45° 46′ = l. Le baromètre marquait à Clermont, station inférieure, 728^{mm} 52 = h'; à la station supérieure, ou au Puy-de-Dôme, 705^{mm} 65 = h; le thermomètre libre marquait, à la station inférieure, 28°3 = t', et à la station supérieure, 25°5 = t; enfin, le thermomètre du baromètre marquait, à la station inférieure, 24°7, et à la station supérieure, 27°8. Retranchant cette dernière quantité de la première, ainsi que nous l'avons indiqué, on obtient cette différence soustractive : — 3.1 = θ. — Introduisant ces valeurs dans la formule ci-dessus, elle devient :

$$Z = \overset{m}{18393}\,(\log. \overset{mm}{728.52} - \log. \overset{mm}{705.65} + 0.00025)\,[1.1076] \ldots\ldots (1 + 0.002837 \cos. 91°32').$$

Nous avons fait θ = 0.00025 au lieu de 0.000248 pour plus de sim-

32 pieds de profondeur (10^m4), ou d'une couche de mercure de 28 pouces (760 millimètres), et l'air à la

---

plicité, le logarithme de 728.52 étant 2.8624415, et celui de $705^{mm}65$ étant 2.8485893, on a pour leur différence 0.0138521; ajoutant à ce nombre 0.00025, il vient 0.0141021, ou approximativement 0.01410; la formule ci-dessus prend alors la forme:

$$Z = 1839^m3\,(0.0141)\,(1.1076)\,(1 + 0.002837 \cos. 91°32').$$

Opérant par les logarithmes qui, comme on doit se le rappeler, changent les multiplications en additions,

Il vient, logarithme de 1.8393 . . . . . 4.26465 . . .
logarithme de 0.0141 . . . . . $\bar{2}$.14922 . . .
logarithme de 1.1076 . . . . . 0.04438 . . .

log. de a. . . $\bar{3}$.45287
log. cos. 91°32' $\bar{2}$.42746 —

log. (a cos. 2 l) $\bar{5}$.88033 —
Dont le nombre est — 0.000076
Ajoutant. 1

Il vient . . . . . 0.999924 dont le logarithme est $\bar{1}$.99997

Log. de Z 2.45822

d'où $Z = 287^m22$.

Voici un autre exemple pris sur les observations de M. de Humboldt, pour déterminer l'élévation de Guanaxato au Pérou. —Nous le donnons pour que le lecteur, en s'exerçant à ce calcul assez long, puisse voir comment on le dispose.

Baromètre.	Thermomètre libre.	Thermom. du barom.	Latitude.
$h' = 763.15^{mm}$	$t' = 25°\ 3$	25° 3	21°
$h = 600.95$	$t = 21°\ 3$	21° 3	
	$t' + t = 46°\ 6$	$\theta = 4°\ 0$	
h'. . . . 2.88261	a . . . $3.\bar{4}5287$	a 4.26465	
h . . — 2.77884	cos. 2 l . . . $\bar{1}$.87107	1.0932. . . . 0.03870	
. .8 θ . . . — 32	$\bar{3}$.32394	1.0021083 . . 0.00092	
9.10345	. . . . .		$\bar{1}$.01473
$Z = 2084^m50$		log. Z . . . 3.31900	

(*Note du traducteur.*)

surface du globe ayant une densité qui n'est que le 770me de celle de l'eau, il s'ensuit que si l'air était partout d'une densité uniforme, l'atmosphère aurait une hauteur de $10^m4 \times 770$, ou environ 8000 mètres, ou 8 kilomètres, ou moins de deux lieues communes. Nous avons vu cependant qu'il s'élevait à environ quinze lieues, à cause de l'élasticité des gaz qui le composent, et dont le volume augmente à mesure que la pression diminue. — Toutefois la loi du décroissement de densité que nous avons fait connaître plus haut, conduit à ce résultat, vérifié d'ailleurs par l'expérience que plus de la moitié de la masse atmosphérique est comprise dans une limite qui ne dépasse guère la hauteur du Mont-Blanc, c'est-à-dire 4800 mètres. Ceux de nos lecteurs qui n'ont point l'habitude du calcul, seraient sans doute disposés à croire qu'il y a plus d'uniformité dans la densité des couches, que cette loi ne l'indique ; il n'en est pas ainsi cependant, et s'ils jugeaient de la hauteur à laquelle ils se sont élevés en établissant leur calcul sur un décroissement uniforme de densité pour des hauteurs égales, ils s'exposeraient à commettre à peu près ce genre d'erreur dont on rapporte qu'un cuisinier se rendit coupable. — Il était parti au marché armé d'une corde d'une certaine longueur, qui devait lui servir à lier des asperges qu'il allait acheter; il en demanda d'abord toute la quantité que sa corde pourrait entourer ; on la lui donna, et il paya pour cela quatre francs. Le lendemain, fantaisie lui prit de servir encore des asperges à ses maîtres; et comme il y avait du monde à dîner chez eux, il jugea sagement qu'il lui fallait une plus grande quantité de légumes, et prit en conséquence une corde d'une longueur double de celle qu'il avait la veille. Arrivé au marché, il proposa huit francs pour autant d'asperges que sa corde pourrait en entourer : cette fois le

marchand, qui était un peu géomètre, ne voulut pas les lui donner, il alla même jusqu'à lui demander seize francs, tout en affirmant que le prix des asperges n'était nullement augmenté. —Le cuisinier trouva cette proposition souverainement injuste, et partit fort mécontent, se promettant bien de ne plus rien acheter à un homme aussi déraisonnable (1).

En portant un baromètre du niveau de la mer, où il marque 760 millim., ou 28 pouces, au sommet du Mont-d'Or et à la poste du Mont-Cénis, il s'abaisse à 600 millim. Sur l'Etna et le Mont-Liban, il descend jusqu'à 500 millim., de sorte que la compression à laquelle le voyageur est soumis, diminue, dans le premier cas, de 2173 kilogrammes, et de 3532 dans le second; au sommet du Mont-Blanc, il ne marque plus que 380 mill. environ, et moins encore dans les ascensions aérostatiques, celles de Deluc par exemple, de M. Gay-Lussac, qui s'éleva dans l'atmosphère jusqu'à 7000 mètres, la plus grande hauteur à laquelle homme soit jamais parvenu.

L'extrême rareté de l'air sur le sommet des hautes montagnes, a une influence très-remarquable sur les fonctions physiologiques.— Bien que la poitrine se dilate tout autant au sommet du Mont-Blanc qu'au niveau des mers, il ne s'y introduit dans les poumons du voyageur

---

(1) Si l'on conçoit la hauteur de l'atmosphère partagée en une infinité de tranches de même épaisseur, les densités de ces tranches, *à température égale*, forment entre elles une progression géométrique, à laquelle répond la progression arithmétique des hauteurs. Cette loi, employée par Bouguer à la détermination des différences de niveau, ne doit l'être que pour des approximations; la formule de Laplace et Ramond, donnée ci-dessus, doit toujours être préférée.

(*Note du traducteur.*)

à chaque inspiration, que la moitié de la quantité d'air qu'il aspire sur les bords de la mer, contraste très-remarquable avec le plongeur dans la cloche, qui, à 32 pieds de profondeur, respire un air d'une densité double. On sait que les voyageurs, et même leurs guides, tombent souvent comme frappés de la foudre en approchant de sommités très-élevées, tant est rare l'air qu'ils respirent; il leur faut quelquefois plusieurs minutes pour se remettre de ces accidens. — Les habitans des plateaux élevés de l'Amérique du Sud, sont très-remarquables par le développement de leur thorax : la capacité de la poitrine est très-sensiblement plus grande chez eux que chez les habitans des plaines inférieures. — Admirable exemple de cette faculté dont semblent jouir les corps organisés de se prêter aux circonstances dans lesquelles ils se trouvent placés. — Ces faits nous montrent que malgré les quinze lieues de l'Océan atmosphérique, l'air est tellement rare à une lieue de hauteur seulement, que les crêtes de montagnes qui s'élèvent au-dessus de cette limite sont des barrières aussi insurmontables placées entre les nations, que pourraient l'être une île ou un continent entre les diverses tribus de la gent aquatique habitant des côtes opposées. Le froid très-intense de ces hautes régions est encore un obstacle, dont nous étudierons l'influence dans la division suivante.

Un baromètre mis en communication avec l'intérieur d'une machine pneumatique, indique très-exactement le degré d'exhaustion de l'air sous le récipient. En effet, le baromètre s'abaissant de la moitié de sa hauteur, on en conclut que la moitié de la masse d'air a été extraite; s'il s'abaissait du quart, c'est que le quart de la masse aurait été enlevée, ainsi de suite pour les autres proportions. Le baromètre est donc une addition nécessaire

à la machine pneumatique; mais comme son principal usage est d'indiquer le degré d'exhaustion lorsqu'elle est sur le point d'être parfaite, on met simplement en communication avec la partie inférieure d'un baromètre ordinaire, un petit tube très-court auquel on donne la forme d'un syphon.

La nouvelle et ingénieuse méthode du professeur Leslie, pour déterminer le poids spécifique des masses poreuses ou des solides en poudre, est pour ainsi dire une application du baromètre (1); elle est fondée sur ce raisonnement : les interstices d'une masse poreuse ou pulvérisée, sont remplies d'air dont la densité est précisément celle de l'atmosphère environnante. — Si l'on diminue par un moyen quelconque la pression exercée sur la masse par cette atmosphère, une quantité d'air proportionnelle à cette diminution de pression, s'échappera des pores de la masse ; de sorte qu'en mesurant cette quantité, on obtiendra son rapport avec celle qui était contenue dans la masse poreuse. — Passons donc à la description de l'instrument, et à son usage.

L'appareil consiste (*fig.* 34) en un tube de verre *a e* d'environ trois pieds de long, et ouvert par les deux

(1) Il semble qu'il ne puisse jamais y avoir aucun accord sur la priorité des inventions entre l'Angleterre et le continent. — Calcul différentiel, machine pneumatique, machine à vapeur, éclairage par le gaz, tout est contesté, et sans motif valable le plus souvent. — L'instrument dont il est ici question n'est pas plus inventé par M. Leslie, que la machine à vapeur ne l'a été par le marquis de Worcester. Il est dû à M. Say, capitaine du génie, mort en Egypte. Il fut publié dans le tome XXIII des *Annales de Chimie*, année 1797, avec tous les détails capables d'assurer le succès de l'expérience; l'auteur avait même déterminé, par le calcul, la limite des erreurs possibles. Le lecteur devra donc substituer le nom de M. Say à celui de M. Leslie, dans tout ce paragraphe. — *Sic vos non vobis.*

(*Note du traducteur.*)

bouts ; la partie supérieure *a b* est séparée du reste du tube par un diaphragme percé d'une ouverture très-fine qui laisse passer l'air, mais retient le sable ou la poudre : la section supérieure du tube est usée de manière à pouvoir se fermer hermétiquement par une petite plaque de verre *a*. C'est dans la partie *a b* qu'on place la substance dont on cherche le poids spécifique, du sable par exemple ; il n'est pas indispensable de la remplir entièrement. Les précautions à prendre avant d'introduire cette substance, sont ; 1° de faire en sorte que le corps ne renferme pas dans son intérieur des cavités qui ne soient en communication avec l'air ; 2° de détruire la texture cellulaire propre à certaines substances, le charbon de bois par exemple, et en vertu de laquelle elles condensent dans leur intérieur les gaz et les vapeurs. Ces précautions prises et la substance étant introduite, on plonge verticalement la partie inférieure du tube dans du mercure contenu dans le vase ouvert *f*, jusqu'à ce que le métal arrive au diaphragme *b* ; on le bouche alors hermétiquement par la petite plaque de verre *a*. Dans cet état, il est évident qu'il n'y a dans le tube d'autre air que celui qui se trouve mêlé avec le sable dans la cavité *a b*. — Supposons que dans ce moment le baromètre soit à vingt-huit pouces, et qu'on soulève le tube verticalement jusqu'à ce que le mercure se trouve dans l'intérieur de *b e*, au point *c* à quatorze pouces (ou la moitié de vingt-huit) au-dessus de son niveau dans le vaisseau ouvert ; il est évident alors que l'air, dans l'intérieur du tube, est soumis à une pression qui est exactement la moitié de la pression atmosphérique, puisque ce poids est proportionnel à la hauteur de la colonne mercurielle. Dès-lors cet air intérieur se dilate et remplit précisément le double de l'espace qu'il occupait d'abord ; il s'ensuit aussi que puisque l'air est

dilaté à deux fois son volume, la cavité *a b* contient juste la moitié de ce qu'elle contenait primitivement, et la cavité *b c* contenant maintenant l'autre moitié, la quantité d'air dans chacune des parties du tube est égale. En d'autres termes, la quantité d'air dans *b c* est absolument égale à celle qui est mêlée avec le sable dans *a b*, et occupe le même espace que *tout* l'air occupait *avant* sa dilatation. — Supposons maintenant qu'on retire ce sable et qu'on répète la même expérience, mais avec cette différence que la cavité *a b* ne soit remplie que d'air; il est évident que la quantité en étant plus grande, l'air intérieur, lorsqu'il sera dilaté au double de son volume, sous une pression de quatorze pouces, occupera un plus grand espace, et que le mercure ne s'élèvera, par exemple, que jusqu'en *d*. Mais l'air dilaté au-dessous du diaphragme occupe toujours absolument le même espace que le tout occupait sous la pression atmosphérique ordinaire, et cet espace est conséquemment dans un cas *b e*, et dans l'autre *b d*. — Il suit de là que la cavité qui forme la différence est égale au *volume de la matière solide du sable*. Maintenant, si l'on adapte à la partie du tube située au-dessous du diaphragme, une échelle graduée sur laquelle on puisse lire le poids de l'eau correspondant à ces divisions, l'on connaîtra de suite le poids d'une quantité d'eau égale en volume à la matière solide du sable, et en le comparant avec le poids du sable lui-même, on obtient précisément la pesanteur spécifique de ce dernier.

C'est à l'aide de cet instrument, et par cette méthode ingénieuse, que M. Leslie a trouvé que le charbon, auquel on n'accorde qu'un poids spécifique moitié de celui de l'eau, est réellement près de quatre fois aussi pesant qu'un même volume de ce liquide; — nouveau rapport très-remarquable entre le charbon et le diamant. Il a

trouvé de même que cette substance minérale si légère, connue sous le nom de *pierre ponce*, était effectivement plus lourde que le granit et le marbre. Ces expériences intéressantes ne peuvent manquer de conduire à des résultats fort importans; nous devions en parler ici, pour montrer un nouvel exemple de l'action barométrique et de l'élasticité de l'air.

Le degré de pression exercée par l'atmosphère détermine l'état liquide ou aériforme des substances qui y sont plongées.

Nous avons déjà remarqué que les gaz permanens, c'est-à-dire les substances qui, dans les circonstances ordinaires, se trouvaient à l'état aériforme, pouvaient être amenées à l'état liquide, et même à l'état solide, soit en les comprimant, soit en les privant de la chaleur avec laquelle elles se trouvaient combinées. L'air atmosphérique, le gaz acide carbonique, le gaz de la houille, etc., ont été liquéfiés de cette manière. Voyons maintenant si l'inverse n'aurait pas lieu, c'est-à-dire si le plus grand nombre de substances que nous connaissons à l'état liquide à la surface de la terre, où elles sont soumises à toute la pression de l'atmosphère, ne se résoudraient point en gaz si cette pression venait à diminuer ou même n'existait pas.

En consultant l'expérience, nous trouvons que l'*éther*, l'*alcool*, les *esprits*, les *huiles volatiles*, etc., et l'*eau* elle-même, ne sont en effet des liquides qu'autant que leurs molécules sont retenues les unes contre les autres par le poids et la compression de l'atmosphère. L'une quelconque de ces substances, débarrassée par l'art de cette énorme pression, passe aussitôt à l'état aériforme, tout comme les gaz dits permanens que la compression

avait liquéfiés, reviennent à leur premier état au moment où cesse cette compression.

Nous avons montré, dans le premier chapitre, qu'il y avait dépendance entre les trois formes qu'un corps pouvait affecter, et la quantité de chaleur répandue entre ses molécules : nous voyons ici, cependant, que cet état solide, liquide ou aériforme d'un même corps, dépend encore d'une autre cause, et cette cause est la pression à laquelle il se trouve soumis. Il ne suffit point, en effet, que la chaleur ait la force de vaincre l'attraction mutuelle des molécules, il faut encore, pour qu'elle les disjoigne, pour qu'elle les repousse à distance, qu'elle surmonte le poids dont la masse est chargée, c'est-à-dire le poids de l'atmosphère qui la comprime. L'influence combinée de ces forces va devenir pour nous très-sensible dans l'étude de ces deux phénomènes que l'on connaît sous le nom d'*ébullition* et d'*évaporation*, et auxquels donne lieu le passage d'un liquide à l'état aériforme.

Ebullition. — Lorsqu'on place un vase rempli d'eau, et de forme convenable, sur un foyer ordinaire ou au-dessus de la flamme d'une lampe, elle s'échauffe graduellement jusqu'à un certain degré, puis de petites bulles gazeuses (qui ne sont autre chose que de l'eau à l'état de vapeur) s'élèvent successivement du fond du vase, montent dans le liquide en grossissant de plus en plus à mesure qu'elles approchent de la surface, et crèvent à ce niveau pour se répandre dans l'atmosphère. Si ces phénomènes ont une certaine durée, la quantité d'eau contenue dans le vase diminue d'une manière très-sensible, puisque chaque bulle en emporte une partie, et bientôt le tout a passé à l'état aériforme.

Ces changemens se manifestent pour l'eau, dans les circonstances ordinaires, lorsque sa température fait

monter le thermomètre centigrade à cent degrés; c'est donc seulement à cette température que la force répulsive du calorique est suffisante pour vaincre la cohésion des molécules aqueuses, plus la pression atmosphérique, que nous continuerons toujours d'évaluer approximativement à un kilogramme par centimètre carré de surface. Cependant l'ébullition s'opère, et le liquide est réduit en vapeur à une température bien moins élevée si l'on diminue la pression atmosphérique; elle est, au contraire, retardée si cette pression augmente. C'est ainsi que l'eau qui au niveau des mers, et sous la pression totale de l'atmosphère, équivalente, comme nous le savons, à 760 millim. de mercure, entre en ébullition à 100 degrés du thermomètre centigrade, se réduit visiblement en vapeur à une température de 84° seulement au sommet du Mont-Blanc, parce qu'à cette hauteur elle est débarrassée de la pression de toutes les couches d'air inférieures. La température nécessaire à l'ébullition croît, au contraire, à mesure qu'on s'abaisse, et ce phénomène est surtout très-sensible dans le fond des mines. — On pourrait donc encore juger de la hauteur d'un lieu au-dessus du niveau des mers, par la température à laquelle l'eau devrait être amenée pour entrer en ébullition (1).

Nous présenterons, à l'appui de cette doctrine, quelques résultats curieux ou utiles à connaître dans le tableau suivant, qui montre que l'eau bouillante n'est pas également chaude dans tous les lieux de la terre.

---

(1) Wollaston, frère du célèbre chimiste de ce nom, a remarqué qu'un degré de variation dans la température à laquelle l'eau pure entre en ébullition, correspondait à 27 millimètres de variation dans la hauteur du baromètre.

(*Note du traducteur.*)

Dans les lieux suivans.	Dont la hauteur au-dessus de l'Océan est.	Et où la hauteur moyenne du baromètre est.	L'eau bout à
	mètres.	millimètres.	degrés centigrades.
Quito	2908	527	90.1
Mexico.	2277	572	92.3
Hospice du St.-Gothard. . .	075	586	92.9
Briançon. . . .	1306	645	95.5
Barège	1269	648	95.6
Poutarlier . . .	828	685	97.1
Madrid.	608	704	97.8
Lausanne . . .	507	713	98.3
Plombières. . .	421	721	98.5
Clerm.-Ferrand	411	2	98.5
Genève	372	725	98.6
Dijon.	217	740	99.2
Mâcon.	168	744	99.4
Lyon	162	745	99.4
Paris (au 1er étage de l'Observatoire) . .	65	754	99.7

Puisque, pour porter un liquide à l'ébullition, la température doit être plus élevée lorsque la pression à laquelle ce liquide est soumis est elle-même plus grande, les couches liquides situées au fond d'une chaudière un peu profonde doivent être plus chaudes que les couches de la surface; car, comprimées par tout le poids de ces dernières, elles ne peuvent laisser échapper la vapeur dont elles se débarrasseraient facilement si elles étaient plus élevées. Dans les immenses et profondes cuves de nos brasseries, la liqueur s'échauffe donc beaucoup plus qu'elle ne le ferait dans des vaisseaux moins profonds, et cette circonstance doit avoir quelque influence sur la qualité du produit.

Bien que l'eau entre en ébullition à cent degrés de température sous la pression de 760 millim. de mercure, il n'en faut pas conclure qu'il en est de même de tous les liquides; ils présentent à cet égard des différences très-sensibles, dont le tableau suivant donnera une idée :

Sous la pression atmosphérique,

L'éther sulfurique entre en ébullition .	à	37°.8
L'alcool	à	79°.7
L'huile de térébenthine.	à	273
L'acide sulfurique	à	310
L'huile de lin	à	316
L'huile de poisson et le suif environ .	à	326
Le mercure	à	350

C'est ce qu'on appelle leur *point d'ébullition.*

Sur cette propriété dont jouissent les différens liquides, de vaincre la pression atmosphérique à des températures différentes, repose l'art de la *distillation.* Un mélange d'eau et d'alcool, par exemple, est-il porté à la température de 84 degrés, l'alcool passe à l'état aériforme, en abandonnant l'eau à laquelle il restait mêlé sous la température de l'atmosphère : on le recueille alors très-facilement, pour le condenser dans un vaisseau convenable. La distillation est un des meilleurs moyens que nous possédions de séparer les uns des autres des liquides qui se trouvaient mélangés ou combinés. C'est par cette opération fort simple que le chimiste extrait du vin, ou de toute autre liqueur fermentée, l'alcool qu'elle contient; — qu'il sépare l'eau d'un grand nombre d'acides; — qu'il débarrasse cette eau elle-même des matières impures qui la troublaient; — et cette opération par laquelle on sépare le mercure de l'or auquel on l'avait amalgamé, pour l'extraire plus facilement des ma-

tières impures auquel ce métal précieux est allié dans la mine, n'est encore qu'une distillation.

Nous devons rappeler ici un phénomène simplement indiqué dans la première partie de cet ouvrage. Nous avons dit que lorsqu'un corps solide passait à l'état liquide, il devait toujours s'emparer d'une certaine quantité de calorique, et que le même phénomène avait lieu en passant de l'état liquide à l'état gazeux; nous avons ajouté que ce calorique n'étant point sensible, c'est-à-dire n'étant point indiqué par le thermomètre, avait reçu le nom de *calorique latent* ou caché; or, l'eau, en passant à l'état de vapeur, présente un exemple frappant de cette absorption de calorique insensible.

En effet, ce liquide parvenu à la température de 100 degrés, c'est-à-dire à celui de son ébullition sous la pression ordinaire, exige encore, pour se volatiliser complètement, cinq fois et demie environ autant de chaleur qu'il en a fallu pour le porter à l'ébullition : c'est un fait parfaitement prouvé par le temps et la dépense de combustible que nécessite la réduction en vapeur d'une quantité d'eau quelconque; mais on le démontre encore par l'expérience suivante : On place dans un vase 550 grammes d'eau à 0, et 100 grammes d'eau à 100 degrés dans un autre vase en communication avec le premier; on réduit les 100 grammes d'eau à 100 degrés en vapeur. Cette vapeur passe dans le premier vase, s'y condense, et on trouve qu'il contient alors 650 grammes d'eau à 100 degrés. Les 100 grammes de vapeur condensée se retrouvant à 100 degrés, comme avant la condensation, ils n'ont donc perdu que leur calorique latent.

Sans ce calorique latent, la conversion d'un liquide en vapeurs ne s'opérerait point graduellement comme nous le voyons tous les jours, mais elle donnerait lieu à une explosion soudaine et terrible. En effet, une masse

d'eau quelconque étant portée au point d'ébullition, un degré de chaleur de plus la convertirait immédiatement en vapeurs; de même chaque dégel en hiver produirait une subite et effroyable inondation. D'un autre côté, si l'eau, en se congelant, ne rendait point son calorique latent, une fois amenée au point de congélation, elle se prendrait subitement en une masse solide pour un nouvel abaissement de température de un degré seulement. La nature, par l'absorption et le dégagement de ce calorique insensible au thermomètre, a sagement établi une marche graduelle dans ces divers changemens d'état auxquels elle a soumis tous les corps de son immense empire.

Si l'on soustrait à la vapeur une petite quantité de calorique, il s'en condense immédiatement une portion qui dépend de la chaleur soustraite. — Ce qu'on appelle vapeur d'eau dans le langage ordinaire, celle qui s'échappe, par exemple, d'un vase qui contient de l'eau en ébullition, n'est réellement point de la vapeur, mais de petits globules d'eau déjà condensés par l'air froid auquel ils se mêlent. La vapeur est aussi sèche et aussi invisible que l'air lui-même; ce n'est qu'au moment où elle entre en contact avec des corps dont la température est inférieure à cent degrés, qu'elle se convertit en eau et qu'elle devient visible.

L'existence de cette chaleur insensible à nos instrumens de ce *calorique latent*, toute évidente qu'elle paraisse aujourd'hui, est une découverte scientifique des temps modernes qui est devenue la source de perfectionnemens très-importans dans la machine à vapeur. C'est aux travaux du docteur Black d'Edimbourg, et de James Watt de Glascow, que nous devons la connaissance de ce fait important, dont James Watt surtout, a fait de si utiles applications.

Il est facile de reproduire, au moyen des pompes de compression et d'exhaustion, tous les faits mentionnés ci-dessus et qui dépendent du degré de pression exercé par l'atmosphère.

Ainsi, en plaçant un vase ouvert rempli d'eau sous le récipient de la machine pneumatique, quelques coups de piston la portent instantanément à l'ébullition; elle s'opère même avec une grande force lorsque le baromètre de la machine ne marque plus que 30 millim., l'eau n'étant d'ailleurs qu'à la température de 30 degrés. Sous une pression de 5 millim. seulement, elle devrait bouillir à 0, mais il est impossible, avec une machine ordinaire, de maintenir l'exhaustion à ce degré. Toutefois, on parvient facilement à la faire bouillir, même lorsque sa température est inférieure de 10 degrés à celle du sang des animaux. Les esprits, l'éther, etc., exigeant moins de calorique pour repousser leurs molécules à distances, entrent en ébullition sous le récipient à des températures extrêmement basses; l'éther, par exemple, y bout à la température où l'eau se congèle dans les circonstances ordinaires.

D'un autre côté, on reproduit des effets inverses à l'aide d'une pompe de compression. Si l'on soumet, par exemple, un liquide à une compression plus grande que celle qu'exerce l'atmosphère, il faudra lui communiquer une plus grande quantité de chaleur pour qu'il repousse ses molécules à distance. Dans la cloche du plongeur, à 64 pieds au-dessous du niveau de l'Océan, le point d'ébullition de l'eau n'est plus 100 degrés, comme à la surface terrestre, mais bien 135°; à 32 pieds, où elle ne serait plus soumise qu'à la pression de deux atmosphères, elle bouillirait à 122°; ce serait la même chose si, renfermée dans un vase clos, on comprimait assez d'air dans ce vase pour la soumettre à une pression de

deux kilogrammes par centimètre carré de surface, ou bien encore si l'on retenait la vapeur dans ce vase jusqu'à ce qu'elle fût capable de presser la surface avec une force équivalente à celle de deux atmosphères. Sous une pression très-forte, on pourrait même donner à l'eau la température du fer rouge; mais la force avec laquelle les molécules tendent alors à se séparer, équivaut presque à celle de la poudre enflammée. Cependant, même dans ce cas, si l'on donnait graduellement passage à l'eau portée à cette haute température, il n'y en aurait qu'une certaine quantité qui absorberait ou rendrait latent l'excès de calorique qui lui aurait été communiqué, c'est-à-dire qu'une partie seulement se vaporiserait, tandis qu'une très-grande fraction de la masse demeurerait dans la chaudière à l'état d'eau bouillante, à la température de 100 degrés.

On a fait de fort utiles applications aux arts de cette propriété dont jouissent les liquides, de se vaporiser à des températures peu élevées lorsqu'on diminue la pression à laquelle ils étaient soumis.

Le procédé par lequel on raffine le sucre consiste à le dissoudre dans l'eau dans son état impur, à clarifier la dissolution, puis à faire bouillir ou à vaporiser l'eau qu'on y avait mêlée, pour obtenir enfin ces belles masses cristallisées que tout le monde connaît. Cette vaporisation se faisait autrefois sous la pression atmosphérique, ce qui exigeait que la température du sirop de sucre fût portée à 103 ou 104 degrés du thermomètre centigrade. Cette haute température avait l'inconvénient de gâter une portion du sucre et de nuire toujours, en définitive, à la beauté du produit qu'on obtenait. Howard eut l'heureuse idée de vaporiser cette eau en portant le sirop à l'ébullition, non plus sous la pres-

sion atmosphérique, mais dans le vide, ou tout au moins dans un appareil où l'air fût très-raréfié, ce qui n'exigeait plus qu'une température peu élevée. Il mit ce projet à exécution, et tels furent l'économie et les grands avantages de ce procédé, que cette seule idée lui assura plusieurs centaines de mille francs de revenu par année. Le sirop de sucre par la méthode d'Howard n'est guère plus échauffé qu'il ne le serait par la chaleur du soleil d'été.

Ce procédé de vaporisation dans le vide s'est utilement introduit dans les préparations pharmaceutiques. La plus grande partie des sucs végétaux perdent de leur qualité médicinale lorsqu'on les soumet à une température de 100 degrés; en vaporisant l'eau, dans laquelle ils sont dissous, par le procédé d'Howard, la température de la masse ne dépasse guères la chaleur du sang, et toute la force et l'activité de la plante fraîche demeurent dans l'extrait qu'on en retire. De même, dans l'art du distillateur, — qui se borne à séparer par la chaleur, et à condenser ensuite dans des vaisseaux convenables, la partie la plus subtile d'une masse liquide, — les substances qui étaient altérées et détériorées par les hautes températures auxquelles elles étaient soumises donnent aujourd'hui, par l'emploi de ce procédé, c'est-à-dire par la distillation dans le vide, des produits d'une qualité supérieure; — les huiles essentielles de lavande, de menthe, etc., n'eurent la fraîcheur et la force des plantes qui les fournissent que depuis quelques années, c'est-à-dire depuis qu'on a généralement employé le procédé d'Howard dans leur préparation.

L'action des préparations pharmaceutiques végétales obtenues par cette voie est devenue si puissante, que le médecin ne peut plus aujourd'hui négliger cette circonstance lorsqu'il les ordonne. Il est indispensable

qu'il modifie les doses en raison de la force supérieure que ces préparations ont acquise.

L'appareil qu'on emploie pour l'évaporation et la distillation dans le vide, se compose de vaisseaux qui doivent avoir une force suffisante pour résister à la pression atmosphérique extérieure, lorsqu'ils sont complètement vides. Il y a donc un grand avantage à leur donner, autant que possible, une forme voûtée. Le vide s'opère et se conserve à l'intérieur par l'action de machines pneumatiques mues par la vapeur ou par tout autre moteur; ou bien encore un degré d'exhaustion suffisant pour le but qu'on se propose, s'obtient en introduisant dans l'appareil une certaine quantité de vapeur qui en chasse l'air, et qu'on condense ensuite par le refroidissement.

L'auteur propose un mécanisme fort simple pour remplacer ces divers appareils; il a lieu de croire que, dans un grand nombre de circonstances, ce serait même avec avantage : la figure 35 suffit pour en donner une idée.

La partie principale est une espèce de baromètre à eau *df*, qui ne peut avoir, dans aucun cas, moins de $10^{m}4$ de hauteur au-dessus du niveau de la cuve *d*, et auquel il convient même de donner 11 mètres de hauteur; il est surmonté par un vaisseau *b* d'une force suffisante pour résister à la pression atmosphérique, et ce vaisseau est mis en communication avec la chaudière *a*, hermétiquement fermée. Un robinet *e* intercepte au besoin cette communication entre *a* et *b*. La partie inférieure du tube barométrique s'ouvre ou se ferme à volonté à l'aide du robinet *d*, et la sphère *b* porte à sa partie supérieure un autre robinet *c* adapté à un tube qu'on met en communication avec un réservoir d'eau froide. Cela posé, voici l'usage de l'appareil.

Tous les robinets étant fermés, on ouvre d'abord

celui *c*, placé au-dessus de la sphère *b*, l'eau du réservoir passe par cette sphère, descend dans le tube barométrique jusqu'en *d* qui est fermé, et qui dès-lors l'empêche de s'écouler. Lorsque la sphère et le tube sont remplis de liquide, on ferme le robinet *c*, puis l'on ouvre le robinet inférieur *d*, l'eau s'écoule alors dans la cuve, abandonne toute la capacité de la sphère, et s'abaisse dans le tube jusqu'en *f*, c'est-à-dire jusqu'à la plus grande hauteur à laquelle la pression exercée par l'atmosphère sur la cuve inférieure lui permette de rester, et nous savons que cette hauteur ne peut dépasser 10^m4. — Les choses étant dans cet état, on ouvre le robinet *e*, afin de mettre la chaudière en communication avec le vide de la sphère; l'opération se fait alors comme nous l'avons indiqué plus haut, c'est-à-dire que le liquide échauffé, contenu dans la chaudière, se réduit à une basse température en vapeurs qui vont remplir la sphère. — Arrivées là, il est facile de les condenser, soit en laissant l'eau du réservoir s'écouler sur les parois extérieures de la sphère, soit en laissant un petit filet d'eau froide couler continuellement à son intérieur par le robinet *c*. On n'a jamais à craindre que la sphère ni le haut du tube se remplissent par cet écoulement, car le robinet *d* restant ouvert, l'eau de refroidissement et celle de condensation ne pourront, dans aucun cas, demeurer au-dessus du point *f*, puisque ce point est le plus élevé auquel l'atmosphère puisse maintenir le liquide. — Si l'air se faisait jour dans l'appareil d'un côté ou d'un autre, il serait extrêmement facile de reproduire le vide, puisqu'il suffirait tout simplement de fermer le robinet *d*, pour le rouvrir ensuite lorsque le tube et la sphère auraient été complètement remplis; il serait convenable cependant que l'appareil eût deux vaisseaux comme *b*, on pourrait alors faire le vide dans l'un, pendant que

l'autre serait en action. — L'auteur n'a vu d'abord dans cet appareil qu'un instrument commode pour les préparations pharmaceutiques, il lui semble toutefois qu'on pourrait utilement le faire servir à la fabrication du sucre dans les colonies, où il est toujours difficile et dispendieux de se procurer des machines bien exécutées. Dans la plupart des plantations, il y a des chutes d'eau qui alimenteraient le tube barométrique, et dispenseraient ainsi du travail de la pompe, auquel il faudrait avoir recours dans d'autres cas pour remplir le réservoir. On sait d'ailleurs qu'il n'est point indispensable que le tube *df* soit vertical, il suffit que la différence de niveau entre *d* et *f* soit de onze mètres. On peut d'ailleurs donner à ce tube un diamètre quelconque, le plus petit serait le meilleur, de sorte que quelques mètres de tuyaux de plomb ordinaires seraient très-convenables.

Lorsqu'on eut reconnu qu'à la température moyenne, l'eau, ainsi qu'un nombre d'autres liquides, passeraient à l'état gazeux ou aériforme, sans la pression atmosphérique qui s'opposait à la séparation de leurs molécules, on comprit de quelle importance il serait pour la pratique des arts et pour les progrès de la science en général, de déterminer très-exactement quelle pouvait être la force expansive ou la *tension* des différens liquides pour une température donnée. Les applications importantes de la vapeur d'eau ont plus particulièrement attiré l'attention sur ce liquide, et la tension de sa vapeur à différentes températures a été déterminée avec le plus grand soin. Nous présenterons dans le tableau suivant quelques-uns des résultats auxquels on est parvenu. La première colonne indique la température en degrés centigrades; la deuxième, la *tension* de la vapeur d'eau en millimètres de mercure, ou en atmosphères (dont chacune, comme on le sait, équivaut à une co-

lonne de mercure de 760 millimètres); la troisième, enfin, donne la pression par centimètre carré, exercée par cette vapeur sur les enveloppes qui la contiennent, et par conséquent la force qui s'oppose à la conversion du liquide en vapeurs.

Température du thermomètre centigrade.	Atmosphères.	Tension de la vapeur en millimètr. de mercure.	Pression sur un centimètre carré en kilogrammes.
		millimètres.	kilogrammes.
— 20	»	1.333	0.0018
— 10	»	2.631	0.0036
0	»	5.059	0.0069
10	»	9.475	0.0129
20	»	17.314	0.0235
30	»	30.645	0.0418
40	»	52.998	0.0720
50	»	88.743	0.1206
60	»	144.660	0.1965
70	»	229.070	0.3112
80	»	352.080	0.4783
90	»	525.28	0.7136
100	1	760	1.033
		mètres.	
112.2	1 $\frac{1}{2}$	1.14	1.549
122	2	1.52	2.066
129	2 $\frac{1}{2}$	1.90	2.582
135	3	2.28	3.099
140.7	3 $\frac{1}{2}$	2.66	3.615
145.2	4	3.04	4.132
150	4 $\frac{1}{2}$	3.42	4.648
154	5	3.80	5.165
158	5 $\frac{1}{2}$	4.18	6.681
161.5	6	4.56	6.198
164.7	6 $\frac{1}{2}$	4.94	6.714
168	7	5.32	7.231
170.7	7 $\frac{1}{2}$	5.70	7.747
173	8	6.08	8.264

Cette table montre combien plus rapidement que la température, s'accroît la tendance à se résoudre en vapeur.—La température, en effet, passant de dix à trente degrés, ou s'élevant de vingt degrés dans le commencement de l'échelle, n'augmente la tension que de 0,0289 par centimètre carré de surface, tandis que de 80 à 100 degrés, c'est-à-dire pour un même accroissement de température, la tension augmente de 0.5553 par centimètre. Mais cette différence est encore plus remarquable pour les degrés de température plus élevés, car de 170 à 190, par exemple, nombres qui ne sont pas compris dans notre table, la tension par centimètre carré augmente de $8^{k}.291$; de 190 à 210, c'est-à-dire toujours pour vingt degrés de différence, elle augmente de près de 17 kilogrammes par centimètre. Cette circonstance, pour avoir été mal comprise, a conduit à de malheureux essais pour perfectionner la machine à vapeur. La vérité est que la *vapeur à haute pression* n'est autre chose que de la *vapeur condensée*, tout comme de l'*air à haute pression* est de l'air condensé. —En d'autres termes, la force de la vapeur est toujours d'autant plus grande, que la densité de cette vapeur est plus grande, et comme cette densité ne s'obtient qu'à force de calorique, il faut toujours dépenser trois fois, quatre fois, cinq fois autant de combustible pour avoir de la vapeur trois fois, quatre fois, cinq fois aussi forte. —Il n'y a donc, en général, aucune économie à employer de la vapeur à haute pression. Dans un litre de vapeur à 145°.2 exerçant une pression de quatre atmosphères, il y a, à très-peu de chose près, quatre fois autant d'eau et quatre fois autant de chaleur latente que dans un litre de vapeur à 100 degrés exerçant une pression de une atmosphère. —Il n'entre point dans le plan de cet ouvrage de nous étendre davantage sur ce

sujet; ceux qui voudront plus de détails, consulteront avec fruit l'article Calorique du *Dictionnaire de Chimie* de Ure. (Cet ouvrage est traduit en français.)

L'accroissement rapide de la tension de la vapeur, indiqué par la table ci-dessus, explique les terribles effets dont serait capable l'eau renfermée qu'on porterait à une très-haute température. Il n'est point d'enveloppe, si solide qu'elle soit, qui résiste à cet agent dont la force peut être comparée à celle de la poudre à canon; on ne saurait donc prendre trop de précautions pour faciliter le jeu des soupapes de sûreté, de quelque manière que la vapeur d'eau soit employée comme moteur. Malheureusement, l'incurie ou l'ignorance sont trop souvent encore la cause des plus épouvantables désastres, car il ne se passe point d'année qui ne laisse pour souvenir les ruines de quelque usine renversée avec tout son voisinage par ces cruelles explosions, ou la relation de la destruction subite de superbes navires mis en pièces par l'agent même qui leur donnait la vie.

Mais étudions plus en détail, puisque nous y sommes naturellement amenés, cette

Machine à vapeur,

dont, grâces au génie de Watt, les perfectionnemens qu'elle a reçus depuis quelques années ont produit une révolution complète dans l'industrie, et relevé encore la dignité de l'homme, en augmentant sa puissance sur la matière.

Le nom seul de *machine à vapeur* est intimement lié, chez la plupart des gens du monde et même des gens de lettres auxquels ce livre est surtout destiné, avec l'idée du mécanisme le plus compliqué et le plus inextricable qui ait jamais embrouillé intelligence humaine. La conviction qu'ils semblent avoir acquise,

faute d'examen sans doute, qu'il est indispensable de consacrer un temps fort long à l'étude de cette machine pour en comprendre la nature, les empêche même de jeter les yeux sur sa description. Cependant, celui qui peut entendre le jeu d'une pompe ordinaire, entendra parfaitement celui d'une machine à vapeur. Ce n'est, en effet, qu'une pompe dans laquelle le fluide meut le piston au lieu d'être mu par lui, c'est-à-dire que ce fluide qui, dans le premier mécanisme, est *résistance*, devient *puissance* dans le second. Pour plus de simplicité, on peut d'abord jeter les yeux sur la figure 36, et l'on aura une idée de la pièce la plus importante, de l'*âme* de la machine; *c d* est un fort cylindre mis en communication avec une chaudière à vapeur, et dans lequel se meut un piston *b* qui remplit parfaitement le corps du cylindre. On conçoit facilement que si la vapeur s'introduit au-dessous de *b*, elle va pousser le piston de bas en haut. et qu'elle le poussera au contraire de haut en bas, si elle s'introduit au-dessus de *b* dans la partie supérieure du cylindre. — Ces effets s'obtiennent par un mécanisme particulier que nous pouvons très-bien ne pas considérer ici. — Mais ce piston *b* porte une tige *a* qui va comme lui s'élever et s'abaisser alternativement; dès-lors si cette tige est mise en communication avec un mécanisme approprié à l'usage auquel on le destine, ce mécanisme entrera en mouvement, et ce mouvement il le conservera tant qu'on ne cessera point d'introduire de la vapeur dans le cylindre. La puissance de la machine est d'ailleurs proportionnée à la surface du piston, à l'espace qu'il parcourt, à la pression que la vapeur exerce, depuis 1 kilogramme par centimètre carré, jusqu'à 8, 10 kilogrammes et plus. — Dans quelques mines du comté de Cornouailles, il existe des machines destinées à l'épuisement, dont les pistons ont des dimensions

considérables. — Celle connue sous le nom de *la Marie* (Maria-Engine), porte un piston de plus de deux mètres de diamètre, et dont la course est de plus de trois mètres; la vapeur est introduite dans la partie supérieure du cylindre pendant le commencement de la descente, à une force capable de faire équilibre à deux atmosphères environ, ce qui équivaut à deux kilogrammes par centimètre carré. Si on laisse entrer la vapeur dans le cylindre pendant la moitié de la course du piston, comme sa vitesse peut être portée jusqu'à 360 coups par heure, l'effet produit peut aller jusqu'à remplacer le travail développé par plus de 900 chevaux en vingt-quatre heures.

Souvent la tige du piston agit sur l'une des extrémités d'un grand levier, tandis que l'autre extrémité meut d'immenses pompes qui font jaillir, pour ainsi dire, une rivière du fond de la mine. — D'autres fois, son action s'exerce sur une manivelle qui va tourner à son tour une infinité d'autres pièces; tantôt, étendant ses bras immenses sur toute une manufacture, cette machine y répand partout la vie; d'un côté elle imprime le mouvement à des milliers de petits rouets à filer; de l'autre elle carde, tandis que d'un troisième elle tisse. — Ailleurs, dans les grandes brasseries, par exemple, vous la voyez en même temps moudre le malt, décharger les chariots qui portent les matières qu'elle met en œuvre, pomper l'eau et remplir les cuves, chasser le moût bouillant dans les *bacs* où il doit se refroidir; mettre en mouvement les appareils qui agitent l'air au-dessus de lui, — enfin, opérer elle-même le brassage, et charger les haquets qui vont transporter ses produits dans toutes les parties de la ville. — Dans d'autres manufactures, vous la voyez saisir dans ses serres mécaniques des masses de fer, qu'elle restitue quelques minutes après

pressées en feuilles minces, coupées en barres ou en rubans, façonnées, en un mot, comme l'argile qui sort des mains du potier. A une lieue de Londres il existe une machine à vapeur qui remplit au même instant tous les réservoirs et tous les bains du plus beau quartier de la ville. Enfin, depuis quelques années, la seule action de cette tige sur une manivelle, a transporté dans toutes les parties du monde une innombrable quantité de navires, et défiant la violence des vents et des vagues, ou les courans des fleuves les plus rapides, elle porte tous les jours la civilisation dans le sein autrefois inaccessible de tous les grands continens. — Partout où il existe un fleuve, la région qu'il baigne de ses eaux, grâce à la machine à vapeur, entre en communication avec le reste du monde : isolée peut-être depuis son origine, c'est aux progrès des arts mécaniques qu'elle doit sa participation à tous les avantages des pays civilisés. — Tels sont, en partie, les prodiges que l'emploi de la vapeur a fait naître; de nouvelles applications découvrent tous les jours son immense utilité.

Jetons maintenant un coup-d'œil général sur les parties principales de la machine, de manière à en faire comprendre le principe et le jeu, en nous abstenant toutefois de détails pratiques qu'on ne peut s'attendre à trouver ici. Nous nous proposons surtout, dans cette description, de montrer la folie de divers essais entrepris dans le but de perfectionner la machine, et de rendre intéressant pour tout lecteur attentif, la visite qu'il pourrait faire dans les établissemens où ces puissantes machines sont employées :

1° La pièce sur laquelle nous devons en premier lieu appeler l'attention, est le grand *cylindre cd* (*fig.* 37), dans lequel se meut verticalement le piston *P*, lorsqu'on y introduit la vapeur, tantôt en dessus par le conduit *ec*,

tantôt en dessous par celui *ed*. Ce cylindre doit être parfaitement alésé, et le piston porte sur son contour une couche de filasse ou de toute autre substance propre à intercepter le passage de l'air ou de la vapeur entre la partie supérieure et la partie inférieure. On a récemment construit des pistons entièrement en métal, dans le but de diminuer les pertes de force dues au frottement; ils paraissent préférables dans quelques circonstances.

2° *B* est la chaudière dans laquelle s'engendre la vapeur, la figure indique assez bien sa forme : il est clair que sa force dépend de la tension que doit acquérir la vapeur.

3° Cette vapeur passe de la chaudière dans le tuyau, arrive en *e*, d'où elle est dirigée à travers des *soupapes* convenablement disposées, tantôt en dessus, tantôt en dessous du piston; pendant qu'elle presse d'un côté le piston, celle qui le moment précédent agissait sur lui de l'autre côté, passe dans l'atmosphère, pour les machines à haute pression, ou bien se rend dans le

4° *Condenseur c*, pour les machines à basse pression.

5° *La quantité de vapeur* qui doit passer de la chaudière dans le cylindre, est réglée par le degré d'ouverture d'une plaque mince ou soupape assez semblable à celle de nos poêles, et qui est placée dans le tuyau *Be*. Les mouvemens de cette plaque s'opèrent à l'aide d'un axe qui se prolonge à l'extérieur de ce tuyau; elle obéit d'ailleurs à ce qu'on appelle

6° Le *gouverneur* ou *régulateur*. Cette pièce fort curieuse n'est pas représentée dans la figure 37; mais nous l'avons décrite dans le premier volume, comme exemple de l'action de la force centrifuge. — En faveur de ceux qui n'ont point cette première partie de notre Traité, nous rappellerons que le *régulateur à force cen-*

trifuge, se compose d'un axe vertical que la machine elle-même fait tourner avec plus ou moins de rapidité, suivant qu'elle marche plus ou moins vite. — A l'extrémité supérieure de cet axe, sont suspendues des tiges métalliques, que, pour nous faire mieux comprendre, nous comparerons à une paire de pincettes dont les branches se mouvraient à droite et à gauche sur une charnière; ces branches portent à leurs extrémités inférieures chacune une grosse boule de métal. — Quand l'axe tourne, les balles s'en écartent d'autant plus que le mouvement de rotation est plus rapide, elles s'en rapprochent au contraire si la vitesse diminue; mais en s'éloignant ces balles doivent s'élever, elles doivent s'abaisser au contraire en se rapprochant. Or, ce sont ces oscillations qu'on a mises à profit; elles se communiquent en effet par des leviers à la soupape tournante, qu'elles ferment d'autant plus que le mouvement est plus rapide, et qu'elles ouvrent au contraire lorsqu'il l'est moins : dans le premier cas, moins de vapeur vient agir sur le piston; dans le second, il s'en introduit davantage.

7° La *quantité d'eau* dans la chaudière, est réglée par un *flotteur* qui repose sur la surface du liquide. — Lorsque ce niveau s'abaisse, le flotteur s'abaisse aussi : il agit alors sur un levier qui ouvre une soupape à travers laquelle l'eau descend dans la chaudière remplacer les pertes dues à la vaporisation.

8° La chaudière est en outre munie d'une *soupape de sûreté*, qu'on charge d'un certain poids, et qui prévient alors les accidens qui pourraient résulter d'un excès de tension, en s'ouvrant lorsque la force de la vapeur l'emporte sur la pression à laquelle cette soupape est soumise.

9° La *rapidité de la combustion*, ou la force du feu, est exactement réglée par l'état de la chaudière et les

besoins de la machine : un large tuyau ouvert (qui n'est point représenté dans la figure) traverse la partie supérieure de la chaudière, en s'élevant de quelques pieds au-dessus d'elle, et plongeant en partie au-dessous dans le liquide qu'elle renferme; lorsque la vapeur est trop forte, elle presse l'eau de la chaudière, la force à s'élever dans ce tube; ce mouvement ascensionnel de l'eau soulève un autre flotteur placé dans le tuyau, et au moyen d'un mécanisme que nous ne pouvons décrire, ferme le registre du fourneau : le tirage étant alors diminué, le feu faiblit jusqu'au moment où la tension de la vapeur diminuant dans la chaudière, vient augmenter son intensité.

10° *Figure* 37, la ligne ponctuée *acg* indique la place du grand levier ou *balancier;* il tourne sur un axe horizontal *i*, et son bras *ig* transmet souvent à une distance assez considérable le mouvement du piston. Lorsque la machine sert à élever l'eau, les tiges des pistons de pompe sont simplement suspendues à l'extrémité *g* du balancier; mais lorsqu'on veut obtenir un mouvement de rotation on fait agir cette extrémité *g* sur

11° La *manivelle ln*, à l'aide la grande tige *gl*, qu'on appelle *bièle*; et l'uniformité dans le mouvement s'obtient à l'aide

12° Du *volant m* fixé à l'axe de la manivelle.

Les machines les plus simples, celles qui occupent le moins de place, et qui, sous ce rapport, sont plus économiques, sont celles qu'on appelle *machines à haute pression*, ainsi nommées parce que la vapeur n'y est employée qu'à une densité assez considérable, et dont la tension est conséquemment assez forte, trois ou quatre kilogrammes par centimètre quarré, par exemple.

Dans ces machines, la vapeur s'introduit d'un côté du piston, tandis que celle qui agissait sur lui de l'autre côté dans l'instant précédent s'échappe dans l'atmosphère, ou, plus exactement, y est chassée. La résistance que l'atmosphère oppose à la sortie de la vapeur doit donc diminuer l'effet du piston de toute sa valeur, c'est-à-dire de un kilogramme par centimètre. La simplicité des formes de cette machine la rend fort avantageuse; malheureusement, le danger qui accompagne l'emploi de la vapeur à haute pression, danger trop réellement prouvé par les innombrables accidens dont il a été la cause, doit la restreindre à certaines localités. — En dépit des moyens fort ingénieux récemment découverts pour se mettre en garde contre les explosions, il n'y a pas un seul transport anglais qui emploie la vapeur à haute pression.

Dans les machines à basse pression, la tension de la vapeur est d'environ un kilogramme et un quart ou un kilogramme et demi par centimètre. C'est donc $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ kilogramme de plus que la pression atmosphérique, et cette force est insuffisante pour crever une chaudière ordinaire ou pour faire un grand dégât; cependant, comme on fait le vide dans l'intérieur de la machine, là où la vapeur n'exerce pas son action, toute la force de un kilogramme et demi est employée; et pour les mêmes dimensions, la machine a la même puissance que celles dites à haute pression, qui travaillent avec une force de deux kilogrammes et demi. Ce vide s'obtient au moyen d'un vase séparé *c*, totalement distinct du corps de pompe, et ne communiquant avec lui que par un tube étroit. C'est ce vase qu'on appelle le *condenseur;* il est entretenu constamment froid dans toute sa capacité et dans son enveloppe, à l'aide d'une injection d'eau abondante et continue. De plus, la vapeur

condensée et l'air qui pourrait s'introduire sont évacués par la pompe *k*, manœuvrée par le balancier. La vapeur, lorsqu'elle est mise en contact avec un corps froid, se liquéfie avec la rapidité de l'éclair, de sorte qu'au moment même où les soupapes, en s'ouvrant, établissent la communication entre ce condenseur et une partie quelconque de la machine remplie de vapeur, elle s'y précipite, et fait le vide derrière elle. Le principal titre de Watt à la reconnaissance publique est, sans contredit, l'invention de ce condenseur séparé ; jusqu'à lui, on n'avait condensé la vapeur qu'en introduisant de l'eau froide dans le corps même du cylindre travaillant; ce qui le refroidissait au point qu'il fallait le remplir deux ou trois fois de nouvelle vapeur avant que le jeu du piston recommençât. Ce simple changement de Watt a économisé les trois quarts du combustible qu'on consommait autrefois.

Avant les perfectionnemens de Watt, la seule machine en usage était un grossier mécanisme qu'on appelle *machine à simple effet.* Dans ce système, la vapeur s'introduisait simplement sous le piston, le soulevait de bas en haut par sa force expansive; on faisait alors le vide au-dessous de lui, en condensant la vapeur par une injection d'eau froide : et la pression atmosphérique, en s'exerçant alors toute entière au-dessus de lui, le forçait à redescendre. C'est cette dernière circonstance qui avait fait donner à la machine le nom de *machine atmosphérique.* Elle ne servait guère qu'à l'épuisement des eaux, et sa dépense en combustible était telle qu'elle ne présentait qu'une faible économie sur l'emploi des chevaux.

Dans la machine atmosphérique, la vapeur qui soulevait le piston devait avoir une force au moins aussi grande que la pression atmosphérique à la fin de sa course. Un

autre grand perfectionnement de Watt est d'avoir totalement exclu l'air de sa machine; non-seulement il évita un refroidissement très-nuisible, mais il lui fut alors permis, comme il le disait, de renfermer la vapeur, c'est-à-dire d'en arrêter l'écoulement avant que le cylindre en fût rempli. Il interceptait, par exemple, la communication entre la chaudière et le cylindre, lorsque la vapeur avait rempli les deux tiers du cylindre; le piston continuait à marcher, tant en vertu de sa vitesse acquise que par l'expansion de la vapeur déjà introduite, et qu'on appelle sa *détente*. Hornblower, Woolfe et autres ingénieurs, tirèrent plus tard un grand parti de la détente. Dans leurs machines, la vapeur venant de la chaudière pénètre dans un premier corps de pompe d'abord en dessus, puis en dessous du piston, comme dans la figure 37; mais au lieu de se rendre immédiatement dans un condenseur, après avoir poussé le piston jusqu'à l'extrémité de sa course, elle passe dans un autre corps de pompe à côté du premier, mais d'un plus grand diamètre, et dont elle soulève le piston par sa *seule détente*. Un mécanisme particulier, que nous ne pouvons décrire ici, fait que les deux pistons marchent dans le même sens. Ils portent d'ailleurs chacun une tige verticale, attachées l'une et l'autre au balancier et du même côté de son centre de rotation, de sorte qu'en vertu des impulsions réunies des deux pistons, la même vapeur produit un effet double. — Les avantages des deux cylindres, cependant, s'obtiennent au moyen d'un seul, et ce dernier système est employé aujourd'hui dans presque toutes les mines du Cornouailles. La vapeur s'introduit dans le cylindre à une force de deux atmosphères et demi environ, jusqu'à ce qu'il ait parcouru à peu près le tiers de sa course; la soupape qui en règle l'introduction se ferme alors, et la vapeur n'agit

plus que par sa détente. Il est très vrai que la force de la vapeur pendant la dernière partie de la course du piston, va sans cesse en diminuant à mesure que son volume augmente. Toutefois, il y a économie de temps lorsqu'on emploie ces machines à l'épuisement, la puissance étant très-considérable dans le commencement de la course du piston, c'est-à-dire lorsqu'il est nécessaire de vaincre l'inertie de la masse d'eau à soulever, et diminuant ensuite lorsque cette inertie est vaincue.

On pourrait croire que les machines à haute pression et sans condenseurs sont très-dispendieuses, parce que dans ces machines, la vapeur, après avoir exercé son action sur le piston, doit être chassée du cylindre avec une force capable de vaincre la pression puissante de l'atmosphère. Il est vrai que, dans la machine à basse pression, cette vapeur, en allant se condenser dans un vase séparé, permet à la vapeur introduite de l'autre côté du piston d'exercer toute sa force; mais près de la moitié de cette force est employée à vaincre les frottemens et tous les obstacles au mouvement que présentent les nombreuses pièces dont elles se composent. Les machines à haute pression sont, au contraire, fort simples, le piston y est d'autant plus petit que la force de la vapeur est plus puissante, de sorte qu'au total les pertes par les frottemens ne vont guère qu'à un quart ou même un sixième de la force développée, et qu'en dépit de la résistance de l'air il y a souvent économie dans leur emploi. — Cette économie devient très-considérable si on laisse la vapeur agir par sa *détente*, ainsi que nous l'avons expliqué dans le paragraphe précédent (1).

(1) Des expériences récentes *semblent* prouver que la détente augmente au contraire la dépense.

(*Note du traducteur.*)

Pour avoir mal compris le rapport indiqué par la table ci-dessus entre l'accroissement de tension et l'accroissement de température, on s'est livré à des essais de perfectionnemens non moins ridicules que dispendieux. M. Perkins est récemment tombé dans ce genre d'erreur en voulant employer la vapeur à une pression excessivement élevée; il paraît même n'avoir pas tenu compte de ce fait important : que nous ne possédons point de matériaux, pour les cylindres et les pistons, capables de résister pendant un temps même assez court à la pression et au frottement. Au surplus, l'histoire des prétendus perfectionnemens de la machine à vapeur, forme peut-être le tableau le plus propre à montrer combien il est probable que les hommes doués d'ailleurs d'une haute intelligence, tomberont dans l'absurde toutes les fois qu'ils négligeront l'étude des grandes lois de la science, sur lesquelles tous les arts reposent.

Le génie fertile de Watt ne s'est point borné aux améliorations indiquées ci-dessus; il faudrait étudier toutes les parties de la machine, entrer dans tous les détails, pour faire comprendre combien cet homme célèbre avait le sentiment du simple et de l'utile; et c'est ce que le plan de notre ouvrage ne nous permet point de faire. Arrêtons-nous cependant un moment sur cette singulière machine, à laquelle un homme qui n'aurait point une idée de la puissance des arts mécaniques, accorderait certainement un grand degré d'*intelligence*. Comment ne le ferait-il pas, en effet : elle règle avec une exactitude et une uniformité parfaites, le *nombre de ses coups de piston* dans un temps donné; elle les *compte* toute seule; elle fait mieux, car elle les *indique*, en vous apprenant ainsi, sans que vous l'ayez surveillée, la quantité de travail qu'elle a effectuée, de même qu'une horloge vous fait connaître le nombre des oscil-

lations de son peudule ; — elle règle la *quantité de vapeur* qui doit être admise, — la *force du feu*, — l'*alimentation* de la chaudière, — la *quantité de houille* du fourneau ; — elle *ouvre et ferme ses soupapes* avec une précision parfaite ; — elle *graisse toutes ses pièces* pour diminuer le frottement ; — elle *chasse l'air* qui pourrait s'être introduit dans les parties où le vide doit se faire ; et si quelque chose va mal et qu'elle ne puisse y porter remède, elle *sonne ses gens* pour les avertir de faire attention à leur besogne. Malgré ses qualités intellectuelles et sa force animale, qui dépasse quelquefois celle de six cents chevaux, elle obéit à la main d'un enfant ; — sobre et économe, elle se nourrit de houille, de bois, de charbon ! — elle ne consomme rien lorsqu'elle se repose ; — elle ne se fatigue jamais, — ne dort point ; — si elle a été originairement bien construite, elle n'est jamais malade, et la vieillesse peut seule l'enlever à ses utiles travaux. — Le climat qu'elle habite lui est indifférent, et elle est de tous les métiers ; — vous lui faites pomper de l'eau pendant toute son existence, ou bien vous en faites un mineur, — un marin, — un filateur de coton, — un tisserand, — un forgeron, — un meûnier, etc., etc. Un roulier même, car avec de petites dimensions elle traînera facilement, sur une route à rainure, plus de cent mille kilogrammes. — Enfin, elle portera sur un point donné du territoire un régiment de soldats avec armes et bagages, bien plus promptement que ne pourrait le faire nos meilleures voitures. — C'est la reine des machines, et une réalisation permanente de ces génies de la fable orientale, qui mettaient occasionellement leurs puissances surnaturelles à la disposition des hommes.

On ne s'étonnera point que le créateur d'une machine aussi éminemment utile, ait reçu de ses concitoyens

les honneurs qu'on ne confère qu'aux plus grands hommes. — En novembre 1825, une réunion publique eut lieu, dans le but de voter l'érection d'une statue à la mémoire de James Watt, mort alors depuis peu de temps : tout ce que le royaume renfermait de plus distingué, savans, hommes d'état, de quelque parti qu'ils fussent, se trouvèrent à cette réunion, et tombèrent d'accord sur les éminens services rendus à l'état par cet homme célèbre. Jamais peut-être discours plus éloquens ne furent prononcés, et jamais peut-être éloges ne furent aussi justement mérités.—La voix commune de l'assemblée, organe de la nation tout entière, exagérait à peine en attribuant au génie et à la persévérance de Watt, cet accroissement extraordinaire de commerce et de richesses qui permit à l'Angleterre de résister seule aux efforts combinés de l'Europe, pour triompher ensuite.—Puisse son bonheur, fondé sur les progrès des arts et sur la liberté, être pour jamais assuré, et influencer à son tour les destinées de l'humanité toute entière (1) !

---

(1) James Watt, né à Greenock (Ecosse) en 1736, reçut sa première instruction dans une école gratuite ; il fut successivement apprenti chez un fabricant d'instrumens de physique, ouvrier chez un autre, puis fabricant lui-même. A l'âge de 21 ans, en 1757, il fut nommé conservateur des modèles à l'université de Glascow. En 1764, il quitta cette université pour se faire arpenteur. Il est mort le 25 août 1819, à l'âge de 84 ans.

Voici, d'après M. Arago (Voyez *Annuaire des Longitudes*, 1829), les perfectionnemens faits par Watt à la machine à vapeur.

Année 1769, Watt a montré les immenses avantages économiques qu'on obtient en supprimant la condensation qui s'opérait dans le corps de pompe même, et en la remplaçant par la condensation dans un vase séparé.

1769, Watt a signalé le premier le parti qu'on pourrait tirer de la *détente*.

1769, Watt a inventé la première machine à double effet et à un seul corps de pompe.

1784, Watt a imaginé le parallélogramme articulé. (Cette pièce,

A quelque perfection que la machine à vapeur soit parvenue de nos jours, il ne serait point raisonnable de la regarder comme la limite du possible; les sciences et les arts font tous les jours des progrès qui nous conduiront peut-être dans la suite des temps à la découverte de forces non moins puissantes ni moins obéissantes, si l'on peut ainsi s'exprimer, que celle de la vapeur. — Les lois de la formation et de l'action mécanique des vapeurs, sont assez bien connues aujourd'hui pour ne laisser entrevoir aucun perfectionnement bien sensible dans la manière de les employer; car il en est à peu près de leur action comme de celle de l'eau qui frappe la roue hydraulique; mais il existe des régions de la science qui n'ont point encore été explorées, et nous ne pouvons dès-lors savoir où de nouvelles recherches devront nous amener. Nous reviendrons sur cette remarque en traitant de la *chaleur* (1).

---

dont il n'a pu être question dans la description donnée dans le texte, sert à conserver à la tige du piston une direction *sensiblement* verticale.)

1784, Watt a appliqué avec beaucoup d'avantage le régulateur à force centrifuge, *déjà connu avant lui*, à ses diverses machines.

Consultez la Notice extrêmement intéressante citée plus haut.

(*Note du traducteur.*)

(1) Après cet exposé des machines à vapeur, je crois devoir donner une idée de la manière dont on calcule leurs effets; je ferai remarquer toutefois que les formules suivantes ne peuvent conduire qu'à une approximation passablement éloignée.

La puissance de la machine ou son effet utile, se mesure par la quantité d'eau qu'elle pourrait élever dans un certain temps à une hauteur donnée. On prend en France pour unité un mètre cube d'eau élevé à un mètre de hauteur: cette unité a l'avantage de donner immédiatement les volumes en poids et les poids en volumes, car un mètre cube contient 1000 décimètres cubes ou litres, et il pèse 1000 kilogrammes.

Machines à condensation et sans détente.

Soit T la température de la vapeur dans la chaudière, F sa force

L'explosion de la poudre à canon et de tous les mélanges fulminans, a une telle analogie avec le phénomène de la formation de la vapeur, qu'on peut, avec avantage, en étudier ici la nature et les effets.

Les ingrédiens de la poudre sont, pour la plupart, formés de substances qui, à la température ordinaire, existent sous forme de gaz; la combustion, en les dégageant de leur combinaison et par la production d'une chaleur intense, augmente instantanément leur volume avec une force presque irrésistible. L'expérience et le calcul semblent démontrer que les molécules constituantes de la poudre commencent à se séparer avec une vitesse égale à celle que prendrait l'air réduit à un dix millième de son volume primitif, si la force compri-

---

élastique à cette température, t sa température dans le condenseur, f la force élastique correspondante; ces nombres F et f sont ceux donnés en partie dans la table du texte; on les trouve exprimés en millimètres de mercure : soit B la base du piston en mètres, L la longueur de sa course en mètres, E l'effet utile, on a

$$E = BL\,(F' - f) \times 13.586.$$

Machines à détente.

Soient b la base du petit piston, l sa course, F' la force de la vapeur dans la chaudière et dans le petit cylindre, F'' la force dans le grand cylindre, on aura pour la force totale imprimée aux deux pistons par la vapeur

$$b\,l\left(F' - \frac{F' + F''}{2}\right) + BL\left(\frac{F' + F''}{2} - f\right).$$

En multipliant le résultat par 13.586, on obtiendra le nombre de mètres cubes d'eau élevés à un mètre de hauteur, dans le cas où les deux pistons agiraient tous deux au même point du balancier. Je le répète, ces formules ne donnent qu'une approximation, le lecteur pourra consulter, à ce sujet, un mémoire de M. Combes, *Annales des Mines*, tome 9, ou celui du Colonel Dufour, *Bibliothèque universelle*, 1827.

(*Note du traducteur.*)

mante qui agissait sur lui cessait tout à coup son action. Ce fait explique la vitesse avec laquelle la balle est chassée de l'arme. Presque toutes les poudres fulminantes sont des combinaisons de substances analogues unies à un métal. Cette agrégation des divers élémens est si faible cependant, qu'un léger frottement ou une élévation de température les disjoint tout à coup et donne lieu à une explosion.

Nous avons déjà cité comme un exemple d'explosion l'effet produit par la condensation de l'air dans le fusil à vent; mais cet effet ne peut être comparé à celui de la poudre enflammée.

On a montré récemment qu'un canon de fusil mis en communication avec une chaudière remplie de vapeur à une haute pression, produisait des effets analogues à ceux du fusil à vent; ce système a sur le dernier un avantage très-remarquable cependant, c'est que la vapeur agit sans intermittence tant qu'il y a de l'eau dans la chaudière; de sorte que si les balles peuvent passer avec assez de rapidité dans le canon, on parvient à en lancer cent et plus dans le court espace d'une minute, avec une force et une précision étonnantes. Les projectiles se succèdent avec une rapidité telle que la bouche du canon vomit les balles comme un jet d'eau lance le liquide. Cette arme dirigée successivement sur tous les points d'un bataillon, abattrait les hommes comme la faux abat le blé.—Aucun d'eux ne pourrait se soustraire à la mort que par la fuite. — On a excusé l'épouvantable but de cette machine, en disant qu'elle ne pouvait être employée utilement qu'à la défense des places, de sorte qu'elle devait naturellement mettre fin à toute guerre et empêcher pour jamais les invasions (1).

(1) A l'aide de cette machine, de l'invention de M. Perkins, et que

L'invention de la poudre et la révolution qu'elle opéra dans l'art de la guerre, furent aussi regardées par les philosophes du temps comme une garantie certaine contre le retour de cet état de barbarie qui succéda à l'irruption en Europe des Goths et des Vandales : — l'invasion n'était plus possible que pour des armées instruites et disciplinées. — Cette considération cependant a perdu de son intérêt depuis que l'imprimerie et d'autres inventions utiles nous ont donné des garanties encore plus sûres, et surtout plus humaines.

Outre les faits que nous venons de citer pour montrer l'influence de la pression atmosphérique sur l'état des corps, sur leur forme liquide ou gazeuse, il en est d'autres que nous ne pouvons passer sous silence, et dans lesquels les effets sont modifiés par l'action chimique des substances soumises à cette pression.

La pression de l'atmosphère à la surface de la terre,

---

j'ai vue en action dans ses ateliers, l'auteur ne pouvait guère lancer que des balles de fusil. Les essais qu'il a faits depuis pour lancer des projectiles du poids de quatre livres seulement, ne paraissent point avoir été heureux. M. Madelaine, capitaine d'artillerie français, a imaginé un autre mécanisme pour la défense rapprochée des places fortes, dont il espère obtenir les résultats suivans :

Des projectiles de 4 à 16 livres pourront être lancés (sous l'angle de 45 degrés) à 100 et 150 toises.

Une machine de la force de six chevaux seulement, pourrait lancer, *en une heure*, jusqu'à 6000 projectiles du poids de 6 à 8 livres : elle produirait autant d'effet que quarante pierriers, tout en dépensant vingt à trente fois moins de projectiles ; les dépenses ne seraient que de 2 francs en combustible, au lieu de 900 francs en poudre ; sept hommes en remplaceraient deux cents ; les dépenses de construction, en y comprenant les casemates dans lesquelles seraient établies les machines, seraient de 1 à 30 au plus, etc. (*Voyez* les Mémoires de cet officier et son Introduction à l'Etude de l'artillerie.)

(*Note du traducteur.*)

maintient une certaine quantité d'air en combinaison dans l'eau, de sorte que ce gaz forme une partie de la masse liquide; il reparaît aussitôt que la pression vient à cesser. — Si l'on place un verre rempli d'eau sous le récipient d'une machine pneumatique, et qu'on fasse le vide, on voit bientôt une multitude de petites bulles gazeuses adhérer aux parois intérieures du verre: bientôt elles s'élèvent à travers le liquide, et crèvent enfin à sa surface. — Cette portion d'air, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, est nécessaire à l'existence des poissons. — Elle est chassée de l'eau par l'ébullition; de là cette saveur fade que le liquide acquiert.

Dans la fabrication de la bière, du vin et des autres boissons fermentées, il se forme pendant la fermentation même une très-grande quantité d'un gaz connu sous le nom d'*acide carbonique*. Une grande partie se dégage sous son état aériforme, la pression atmosphérique en retient cependant dans la masse une portion assez considérable à l'état liquide: si l'on fait le vide au-dessus du liquide, il semble que celui-ci entre en ébullition, tant l'acide carbonique reprend sa forme gazeuse avec rapidité.

Une pression supérieure à celle de l'atmosphère maintiendrait à l'état liquide une quantité encore plus grande de ce gaz: c'est ce qu'on voit par exemple dans la bière en bouteilles hermétiquement fermées, et dans le vin de Champagne avant qu'on ait fait sauter le bouchon. — Dès que la compression cesse, le gaz s'échappe et le champagne pétille, tandis que la bière, plus visqueuse, retenant en partie l'acide qui cherche à l'abandonner, forme une mousse ou écume assez épaisse. On pourrait renouveler cette espèce d'ébullition lorsqu'elle a cessé, en plaçant le vase qui contient le liquide sous le récipient de la machine pneumatique.

Il est tellement vrai que le gaz acide carbonique passe complètement à l'état liquide, que lorsque son affinité pour l'eau est aidée par la compression, on parvient à faire entrer assez de ce gaz dans un litre d'eau pure pour que le volume du mélange occupe un litre et demi. —L'eau de soude (*soda water*), si universellement employée aujourd'hui dans toute l'Europe comme boisson rafraîchissante pendant les chaleurs de l'été, n'est autre chose qu e d l'eau pure dans laquelle on a fait entrer, par compression, plusieurs volumes égaux au sien d'acide carbonique, et qu'on acidule avec de l'acide citrique ou toute autre substance.—Une grande partie de l'acide carbonique se dégage de la liqueur à l'instant où l'on fait sauter le bouchon, en produisant une vive effervescence.

L'acide carbonique entre pour un quart environ dans le marbre et la pierre à chaux. Lorsqu'on met l'une ou l'autre de ces substances en contact avec un acide plus puissant, l'acide sulfurique, par exemple, l'acide acétique ou tout simplement le vinaigre, le gaz acide carbonique abandonne sa combinaison, et l'autre acide le remplace en s'unissant lui-même à la chaux. C'est ce dégagement de l'acide carbonique qui produit l'effervescence qu'on remarque dans ces sortes de combinaisons, et le procédé dont nous venons de donner une idée pour obtenir l'acide carbonique isolément, est celui qui est le plus généralement suivi dans la fabrication de l'eau de soude ordinaire.

Il existe un grand nombre d'eaux minérales plus ou moins chargées d'acide carbonique, qui demeure à l'état liquide tant que ces eaux, dans les entrailles de la terre, se trouvent soumises à une assez forte compression : lorsqu'elles sont amenées à la surface, le gaz n'étant plus soumis qu'à la pression atmosphérique, se

dégage en partie et produit à la surface une espèce d'ébullition qui les a fait nommer *eaux mousseuses* ou *gazeuses*.

Ce qui fait que le champagne et les liqueurs gazeuses en général sont si fraîches au moment où elles sortent du flaçon, c'est que le gaz acide carbonique, en passant de l'état liquide à l'état aériforme, absorbe une très-grande quantité de calorique contenu dans le liquide. Ce calorique est d'ailleurs, dans le gaz, à l'état de chaleur latente, c'est-à-dire qu'il n'est point sensible au thermomètre.

La pression de l'atmosphère, en augmentant de plus en plus la densité des couches d'air, à mesure qu'on se rapproche du niveau des mers, augmente aussi leur température.

L'explication de ce fait est fort simple : prenons un litre d'air à la surface du globe, et admettons qu'il contienne une certaine quantité de calorique, également répandue dans toute la masse : si l'on comprime cet air de manière à ne lui faire occuper qu'un décilitre, il y aura dix fois autant de chaleur dans un décilitre qu'il y en avait d'abord, et l'accroissement de température fera monter le thermomètre d'une quantité qui, comme nous le verrons dans une autre partie du Cours, est influencée par d'autres circonstances. — Laissons, au contraire, ce litre d'air se dilater au point d'occuper un volume de dix litres, la même quantité de calorique se trouvant répandue dans la masse, il est clair que chacune des parties de cette masse aura perdu une partie de la température qu'elle avait dans le premier cas. — Qui ne sait qu'en comprimant l'air sous le piston d'une petite seringue fermée d'un côté, ce qui revient à concentrer, à rapprocher le calorique, la chaleur devient assez

intense pour allumer un morceau d'amadou fixé à la face intérieure du piston. — Ce moyen, aussi prompt que sûr pour se procurer immédiatement de la lumière, est connu de tout le monde aujourd'hui; le *briquet pneumatique* est dans toutes les mains.

Ce que nous venons de dire ici; s'applique aux couches d'air qui environnent le globe. Celles qui sont les plus rapprochées de la surface étant condensées par la pression des couches supérieures doivent avoir, toutes choses égales d'ailleurs, une température plus élevée que celle qu'elles acquerraient en s'élevant à une grande hauteur dans l'atmosphère, où la pression est moindre, et où dès-lors leur volume augmenterait. Dans un grand nombre de cas on pourrait déterminer avec approximation la hauteur des montagnes, par la différence des températures observées au bas et au sommet : le thermomètre qui marquera 15 degrés, par exemple, au pied de Saint Paul de Londres, ne marque plus que 14 degrés à la partie supérieure du dôme, ou à 110 mètres au-dessus du pavé; et, dans les ascensions aérostatiques, le thermomètre s'abaisse souvent jusqu'à 0, souvent même au-dessous, lorsque la température était d'ailleurs très-modérée à la surface de la terre. On conçoit sans doute que l'aéronaute trouve encore dans la température, une limite qu'il ne peut dépasser sans de cruelles souffrances. Dans cette célèbre ascension de M. Gay-Lussac, dont nous avons déjà eu l'occasion de parler, le thermomètre qui, à dix heures du matin, au moment du départ du ballon, marquait, à Paris, 30 degrés, tomba, cinq heures après, à 9 degrés au-dessous du point de congélation, l'aéronaute étant alors parvenu à la plus grande élévation, c'est-à-dire à 7000 mètres au-dessus du niveau des mers.

Il existe, pour toutes les parties de la terre, une cer-

taine élévation qui varie avec la latitude ou la proximité de l'équateur, et au-dessus de laquelle le thermomètre qu'on y porterait s'abaisserait de plus en plus au-dessous du point de congélation; cette limite s'appelle ligne de congélation perpétuelle. Elle se trouve, pour la Norwège, à 1500 mètres de hauteur environ, au-dessus du niveau des mers; pour la Suisse, à 1950 mètres; pour l'Espagne et l'Italie, à 2100; plus au sud, au pic de Ténériffe, cette limite est à 2700 mètres; et sous le soleil, dans l'Afrique centrale par exemple, ou dans quelques parties des Andes de l'Amérique, elle est au-dessus de 4200. Nous voyons dès-lors pourquoi les sommets neigeux ne se trouvent point seulement dans les hautes latitudes. C'est ce décroissement de température avec la hauteur à laquelle on s'élève, qui rend le séjour dans les régions équatoriales, non-seulement supportable, mais tout aussi agréable que celui des latitudes plus élevées. — Les anciens philosophes de l'Europe ne pensaient point ainsi toutefois, car ils regardaient la chaleur des Tropiques comme une barrière insurmontable, placée pour l'homme entre les hémisphères boréal et austral. Cependant, la plus grande partie du continent de l'Amérique centrale, est assez élevée pour rivaliser de fraîcheur et d'agrément avec les climats tempérés de l'Europe, tandis que la légèreté et la pureté de l'air qu'on y respire, et l'éclat d'un soleil ardent, ajoutent encore à leurs délices. Le vaste plateau qui forme tout l'empire du Mexique, réunit ces heureuses circonstances de climat, grâces à sa proximité du soleil, et à son élévation au-dessus de l'Océan, qu'on évalue à 2100 mètres environ. Cette terre présente presque partout l'aspect d'un jardin cultivé, et produit à la fois presque tous les trésors que la végétation ne nous offre que dans une infinité de climats. Les plaines de la

Colombie, dans l'Amérique du sud, et une grande partie des Andes, n'ont pas été moins bien partagées par la nature. Le contraste entre la température des basses et des hautes terres, devient extrêmement frappant, lorsqu'après avoir remonté la rivière de la Madelaine, sur un développement de plus de trois cents lieues, plongé dans une atmosphère brûlante assez semblable à celle des plaines de l'Inde, le voyageur s'élève tout d'un coup sur le plateau supérieur où se trouve située la capitale de la république, cette *Santa-Fé de Bogota*, qui surgit au-dessus de plaines sans limites, dont la parure rappelle les campagnes les plus riantes de l'Europe.

Ceux qui étudieront ce sujet pour la première fois, auront peut-être quelque peine à concevoir que le vent qui souffle du sommet glacé des montagnes sur la plaine, ne soit point extrêmement froid : la vérité est cependant qu'il y a précisément la même quantité de chaleur répandue dans une once d'air prise au sommet de la montagne, que dans une once d'air prise dans la vallée; seulement cette once d'air occupant peut-être dans la région supérieure un espace double de celui qu'elle occupe dans la région inférieure, le calorique se trouve plus divisé et doit être par conséquent moins sensible. Ce peut être le même air qui successivement rase la surface d'une plaine où la température paraît fort élevée, — qui s'élève ensuite au sommet d'une montagne et y congèle l'eau, — et qui se joue une heure après parmi les fleurs d'une autre vallée, comme une brise douce et agréable.

La température des différentes parties de l'atmosphère décroissant avec la rareté des couches, ou, ce qui revient au même, avec la hauteur au-dessus de la surface générale du globe, on conçoit sans doute que cette influence

modifiera les régions successives auxquelles on s'élèverait, tant sous le rapport de leurs productions végétales, que sous beaucoup d'autres qui appelleront plus tard notre attention.

Puisque la pression atmosphérique détermine la température des diverses couches de l'océan aérien, elle devra avoir une influence correspondante sur leur état *hygrométrique*, c'est-à-dire sur leur degré d'humidité, si cet état varie lui-même avec la température.

Nous avons vu, page 167, que l'eau et les autres liquides placés dans le vide se réduisaient en vapeurs, et que ces vapeurs, quant à la tension et à la quantité, avaient un certain rapport avec la température, — la chaleur étant en effet la cause de leur production. — Enfin, nous avons donné, même page, une table propre à montrer quelques-uns de ces rapports, pour la vapeur aqueuse. Or, il est très-digne de remarque que pour une même température et un même liquide, il se forme précisément autant de vapeur, et cette vapeur jouit de la même tension, soit qu'elle se forme sous la pression atmosphérique, soit qu'elle se forme dans le vide; seulement elle se développe presque instantanément dans le vide, tandis que la pression atmosphérique ralentit (mais n'arrête point) le développement. On a cru long-temps que l'air dissolvait le liquide comme l'eau dissout le sel, par exemple; il est généralement admis aujourd'hui que cette action n'a pas lieu; et l'on regarde le mélange d'air et de vapeur comme un pur mélange mécanique. Lorsque la vapeur, en s'élevant du liquide, a une tension ou une force élastique moindre que la pression atmosphérique, l'opération se fait lentement, elle prend le nom d'*évaporation;* elle ne s'effectue qu'à mesure que la vapeur parvient à se placer parmi les

molécules de l'air, qui sont pour elle autant d'obstacles physiques. —L'évaporation devra donc se faire d'autant plus rapidement que l'air sera moins dense. — Cette rapidité d'évaporation croîtra aussi avec la sécheresse de l'air. On conçoit en effet que si l'espace est déjà rempli en partie de vapeurs, ces vapeurs agiront de même que l'air, comme obstacles mécaniques. —L'évaporation se fera donc plus lentement dans un air calme que dans un air agité, puisque dans celui-ci des couches d'air non saturées viendront sans cesse se placer au-dessus de la surface liquide. — Lorsque la vapeur, au contraire, par l'effet d'une température plus élevée, jouira d'une force élastique plus grande que la pression atmosphérique, c'est-à-dire d'une tension plus grande que un kilogramme par centimètre carré de surface, la vaporisation se fera par soubresauts, elle prendra le nom d'*ébullition;* nous avons étudié plus haut ce phénomène.

Ceci bien compris, on concevra facilement que l'atmosphère soit constamment chargée d'une plus ou moins grande quantité de vapeur aqueuse, bien que cette vapeur ne soit point toujours visible; et même que si la température ne variait point, cette quantité de vapeur deviendrait en peu de temps la plus grande que la chaleur moyenne de la terre pût permettre, ou atteindrait son *maximum.* — Il n'en est point ainsi cependant, et par diverses causes sur lesquelles nous nous réservons de revenir plus loin, les températures locales sont continuellement flottantes. — Lorsqu'elles s'abaissent là où l'espace est saturé de vapeurs, ces vapeurs reviennent immédiatement à l'état liquide, et nous apparaissent alors sous forme de *brouillard*, *de pluie*, de *neige* ou *de grêle*, —pendant que dans les lieux où l'espace n'est point saturé, l'évaporation se continue. —Ces évaporations et ces condensations, sont un des puissans

moyens employés par la nature pour ramener la fécondité sur toutes les parties de la terre ; elles forment pour le globe terrestre une véritable circulation.

Lorsqu'une quantité d'eau donnée se résout en vapeurs, elle absorbe la même quantité de calorique latent dans toutes les circonstances, soit qu'elle s'élève d'une chaudière bouillante, par exemple, ou de la surface d'un lac. C'est ainsi que, de quelque manière qu'un gramme de vapeur d'eau se forme, il absorbe une quantité de chaleur latente capable d'élever de 1° la température de 550 grammes d'eau liquide. Cette propriété nous explique le froid extraordinaire produit par la vaporisation, et comme nous avons déjà montré que l'agitation de l'air ou le vide accélérait cette vaporisation, l'on comprendra quel refroidissement on peut obtenir par l'évaporation dans le vide.

Un linge humide exposé à un courant d'air sec, perd en peu d'instans toute l'eau dont il était imprégné.

C'est une coutume fort ingénieuse, dans les pays chauds, de rafraîchir le vin en entourant le flacon d'un linge humide, et de le suspendre dans un courant d'air quelque temps avant de le servir sur la table.

Dans l'Inde, on conserve une délicieuse fraîcheur à l'intérieur des maisons, en suspendant aux murailles des nattes qu'on entretient dans un certain état d'humidité par des aspersions fréquentes pendant la chaleur du jour.

Sous le récipient de la machine pneumatique, la rapidité avec laquelle l'eau s'évapore est telle, que la plus grande partie de la masse liquide se congèle en un temps assez court : les effets sont encore bien plus remarquables lorsqu'on place sous ce récipient des substances capables d'absorber rapidement les vapeurs à mesure qu'elles se forment, l'acide sulfurique, par exemple, ou tout sim

plement de la farine d'avoine desséchée. On emploie ce procédé dans les Indes pour faire de la glace.

Les aspersions d'eau et de vinaigre dans les salles de malades, contribuent, par les mêmes causes, à y ramener la fraîcheur, — et l'arrosement des rues et des promenades dans les grandes villes modère l'intensité de la chaleur de l'été.

Ces vases poreux nommés *alcarazas*, dont l'usage s'est depuis quelque temps généralement introduit en France, ne rafraîchissent la liqueur qu'ils contiennent que parce qu'ils permettent l'évaporation : le liquide intérieur s'infiltre à travers le flacon, et s'évapore avec assez de rapidité pour que la température s'abaisse de 15 à 20 degrés au-dessous de la température ambiante ; dans les climats chauds, on suspend ces vases dans des courans d'air, ou bien on les fait osciller dans un air calme, à la manière des pendules.

C'est parce que l'air saturé de vapeurs en abandonne une partie lorsque la température s'abaisse, que certaines saisons ramènent pendant la nuit des brouillards qui disparaissent le matin sous l'influence des rayons solaires. Si l'abaissement de température est plus considérable, le brouillard se condense en pluie, et cette pluie devient elle-même, par un plus grand refroidissement, de la neige ou de la grêle.

La quantité de rosée qui se dépose pendant la nuit, dépend en grande partie de la quantité de vapeurs que la chaleur du jour a pu faire passer dans l'atmosphère ; et, comme le docteur Wells l'a ingénieusement prouvé il y a quelques années, la cause immédiate de la production de la rosée est l'abaissement de température des objets sur lesquels elle se dépose au-dessous de la température de l'air ambiant. — C'est une propriété du calorique de chercher à se répandre uniformément dans

tous les corps, et à y établir une espèce d'équilibre de température. Deux corps diversement échauffés, placés à distance l'un devant l'autre, acquièrent à la longue une égale température, même dans le vide : des rayons de chaleur émanent de ces corps dans toutes les directions, et ce rayonnement est d'autant plus rapide que la différence de leurs températures est plus grande.—Lors donc que, pendant la nuit, l'atmosphère est chargée de nuages, ils reçoivent le calorique qui rayonne de tous les objets situés à la surface de la terre, et en rayonnent eux-mêmes une certaine quantité en retour; ils forment en quelque sorte un vaste manteau qui conserve la chaleur de la région située au-dessous d'eux; il n'y a point alors de rosée produite. — Mais si le ciel est calme et serein, les corps situés à la surface terrestre lancent dans l'espace, pendant la nuit, du calorique rayonnant sans en recevoir en retour, et leur température s'abaisse de plus en plus. Ces objets qui, pendant le jour, jouissaient d'une température égale ou supérieure à cello de l'atmosphère, deviennent plus froids pendant la nuit, ils condensent alors la vapeur aqueuso dont se trouvent chargées les couches atmosphériques environnantes, et une rosée abondante se précipite à leur surface. La rosée ne tombe donc point du ciel, comme le disent encore nos poètes, elle n'est en effet que l'humidité qui se dépose à la surface des corps lorsqu'ils ont été préalablement refroidis par leur rayonnement vers l'espace. Tel est l'ingénieux moyen employé par la nature pour fournir aux végétaux l'humidité qui leur est nécessaire, dans la saison des sécheresses.

Lorsque la rosée se dépose sur des corps extrêmement refroidis, elle s'y congèle et présente le phénomène auquel on a donné le nom de *gelée blanche*.

Les murs massifs et les meubles, lorsque la tempéra-

ture s'élève subitement, donnent lieu à un phénomène analogue à celui de la rosée; on les voit souvent se couvrir d'humidité, et l'eau ruisselle même à leur surface, ce qui fait dire au peuple que les murs *suent*. — Cela dépend de ce que ces masses n'ayant point encore acquis la température de l'atmosphère ambiante, condensent la vapeur dont elle est chargée, ou la ramènent à l'état liquide. Telle est encore la cause de l'humidité dont se couvre une bouteille qu'on apporte immédiatement de la cave dans une chambre échauffée ou remplie de monde.

On connaît, sous le nom d'*hygromètres*, un grand nombre d'instrumens destinés à mesurer la quantité d'eau répandue dans l'atmosphère : la partie la plus importante des hygromètres dont on se servait autrefois, n'était qu'un cheveu bien lessivé afin d'en dissoudre la matière grasse, et dont les allongemens ou les contractions, suivant la plus ou moins grande quantité de vapeurs dont l'atmosphère était chargée, faisaient mouvoir une aiguille qui marquait les degrés hygrométriques par un mécanisme à peu près semblable à celui du baromètre à cadran. Cet hygromètre, toutefois, ne peut plus être regardé que comme un joujou scientifique, depuis que M. Daniel (V. ses excellens *Essais de Météorologie.*) a donné au monde savant un instrument aussi simple qu'exact. Il est fondé sur le principe développé ci-dessus; savoir: que l'atmosphère dépose la vapeur dont elle est chargée, sur les corps qu'on y plonge, lorsque leur température est inférieure à la sienne propre. C'est en refroidissant une bulle de verre jusqu'à ce que la rosée commence à se former à sa surface, et observant la température sur un thermomètre qui y est renfermé, qu'il détermine la proportion d'eau contenue dans l'air.

Le baromètre, en s'abaissant d'une quantité très-sen-

sible, indique une diminution dans la pression atmosphérique; il s'ensuit que les couches inférieures sont nécessairement plus dilatées, et par conséquent plus froides, comme nous l'avons vu plus haut; il s'ensuit aussi que si l'air était saturé de vapeur, il devra s'en condenser une certaine portion, et l'on aura du brouillard ou de la pluie. L'abaissement du baromètre, l'abaissement de la température et la chute de la pluie sont donc des phénomènes qui doivent souvent coincider.

L'expérience, au surplus, vient à l'appui de ce raisonnement. — Lorsqu'on épuise d'air une machine pneumatique, on voit souvent un léger brouillard se former à l'intérieur du récipient, après les premiers coups de piston : nul doute que ce phénomène ne soit dû à la raréfaction de l'air qui reste sous ce récipient, et qui en se dilatant absorbe une partie du calorique de la vapeur, et la rend ainsi visible en la condensant. Ce brouillard disparaît par exhaustion si l'on continue à faire le vide, ou bien la vapeur se forme de nouveau lorsqu'on laisse rentrer l'air dans le récipient.

Ceci nous aidera à comprendre pourquoi la pluie est plus fréquente sur les montagnes que dans les plaines étendues. En effet, lorsque l'air saturé d'humidité s'élève le long des flancs de la montagne, chaque mètre d'élévation diminue la pression à laquelle il était soumis, il se dilate de plus en plus, par conséquent se refroidit et laisse alors échapper l'humidité qu'il retenait lorsque sa température était plus élevée. Telle est la cause des pluies périodiques des régions montagneuses, qui viennent à époques fixes accroître le volume d'eau des grandes rivières et les faire déborder; le Nil, le Gange, etc., en sont un exemple.

Ceux de nos lecteurs qui ont visité le Cap de Bonne-Espérance, se rappelleront, sans aucun doute, un phé-

nomène extraordinaire qui trouve ici son explication, et qui a toujours lieu lorsque le vent souffle du sud-est. Au-delà de la ville, lorsqu'on la voit de la baie, surgit une montagne fort élevée, qui a reçu le nom de *Montagne de la Table*, à cause du vaste plateau qui forme son sommet. En général, ses flancs rocailleux se dessinent sur un ciel pur; mais lorsque le vent souffle du sud-est, tout le sommet est enveloppé dans un nuage d'une densité et d'une beauté très-remarquables; les habitans du Cap appellent ce phénomène la *mise de la nappe*. —Cette nuée n'est point en repos, car elle semble constamment rouler en s'avançant sur la montagne du sud-est au nord-ouest, et cependant, à la grande surprise des spectateurs, elle ne descend jamais au-dessous d'une certaine limite; des tourbillons neigeux se précipitent constamment vers la ville, mais ils disparaissent complètement avant de l'atteindre, et sont remplacés à mesure de la disparition par ceux qui se forment de l'autre côté du précipice. — Ces singulières apparitions sont l'effet des causes suivantes : — l'air qui vient du sud-est ou de l'Océan méridional, arrive chargé d'autant de vapeurs invisibles que sa température lui a permis d'en absorber; à mesure qu'il s'élève le long des flancs de la montagne, la pression à laquelle il était soumis diminue, son volume augmente, sa température s'abaisse, et arrivé au sommet, il laisse échapper une grande partie de l'eau qu'il retenait, c'est-à-dire que le nuage ou la *nappe* se forme; mais bientôt en roulant de l'autre côté, il y rencontre des couches pressées, condensées, et par conséquent à une température plus élevée; il s'évapore et disparaît avant de s'être abaissé sur la ville.

Lorsque l'élévation à laquelle on porte subitement l'air chargé d'humidité est très-grande, l'abaissement de la température est tel que l'eau s'en sépare sous forme de

neige. — Les mines de la Hongrie offrent un exemple de ce curieux phénomène : c'est une fontaine de *Héron* qu'on emploie dans ces mines pour enlever les eaux d'infiltration ; l'air y est si comprimé pendant son jeu, que lorsque la pression cesse, il se dilate et se refroidit assez pour que l'eau qu'il retenait s'en sépare, même pendant l'été, à l'état de neige.

Le raisonnement suivant fera comprendre pourquoi, sur le flanc des montagnes, les nuages s'arrêtent à une certaine hauteur qu'ils ne dépassent jamais, formant ainsi une couche horizontale : l'eau se sépare de l'air à une certaine température, et cette température dépend elle-même, comme nous l'avons vu, de la hauteur; passé cette hauteur, l'air est trop rare pour supporter ces nuages ; voilà pourquoi on voit si souvent dans les régions montagneuses des pics très-élevés surgir au-dessus d'eux, et comment il se fait que des hommes intrépides, en se transportant sur ces pics, jouissent, éclairés par le soleil, du spectacle grandiose d'un orage qui crève sous leurs pieds. —Le pic de Ténériffe, élevé de 3710 mètres au-dessus de l'Océan, perce souvent ainsi des masses de nuages, et trompe le matelot éloigné, qui prend ces apparences pour une côte sur laquelle vont se briser les vagues.

Corps flottans dans l'air. (Voy. l'analyse.)

Nous avons montré dans l'hydrostatique, que tout corps plongé dans un fluide pesant et en équilibre, éprouvait des pressions dont la résultante était verticale, dirigée de bas en haut, et égale au poids du fluide déplacé par le corps; nous avons vu que cette résultante qu'on appelle *poussée du fluide*, passait par le centre de gravité du fluide déplacé; qu'enfin, le poids du corps plongé était diminué du poids d'un volume

de fluide égal à celui qu'il déplace par son immersion. Eh bien ! ces divers théorèmes s'appliquent mot pour mot aux corps plongés dans l'air, comme à ceux qui sont plongés dans un liquide.

Nous en déduirons d'abord cette vérité, qui doit maintenant paraître évidente, savoir : que tout corps pesé dans l'air doit paraître plûs léger que s'il était pesé dans le vide, et que la différence de poids est précisément le poids du volume d'air qu'il déplace. — Ainsi donc, lorsqu'en plaisantant on demande quel est le plus lourd du poids d'une livre de liége ou de celui d'une livre de plomb, on ne donne point une réponse bien exacte en disant que ces poids sont égaux, car si les corps ont été pesés dans l'air, le liége, dont le volume est très-considérable, perd une bien plus grande partie de son poids, que le plomb qui est très-dense; de sorte que la quantité de liége qui, plongée dans l'air et suspendue à l'extrémité d'un des bras d'une balance, équilibre une livre de plomb plongée aussi dans l'air et suspendue à l'autre bras, pèse effectivement plus d'une livre. Il suffirait, pour s'en convaincre, de placer le système ainsi disposé sous le récipient d'une machine pneumatique, et d'y faire le vide, car on verrait alors la masse de liége emporter la masse de plomb.

De même que tout liquide plus léger que l'eau, tel que l'huile, l'alcool, introduit dans le fond d'un vase rempli de ce premier liquide, s'élève à la surface ; — de même que le sirop, l'eau salée, etc., descendent, au contraire, dans le fond du vase, ces effets étant, dans l'un et l'autre cas, proportionnels à la différence des poids spécifiques; — de même, dans la masse atmosphérique, l'hydrogène, l'air échauffé, etc., devront s'élever à cause de leur légèreté spécifique, tandis que l'oxigène, l'acide carbonique, ou l'air froid, devront

descendre, parce que sous le même volume ils sont plus lourds que l'air atmosphérique.

Aérostats ou Ballons.

Les ballons ne sont autre chose que des sacs de taffetas gommé, auxquels on donne le plus ordinairement une forme sphérique, et qu'on remplit d'un fluide d'un poids spécifique inférieur à celui de l'air. Leur volume doit être assez grand pour que la différence entre leur poids et celui de l'air qu'ils déplacent, leur permettent de s'élever en portant avec eux l'aéronaute et tout l'appareil. On peut assimiler le ballon, quant au principe, à une vessie remplie d'huile et plongée dans l'eau. Un globe de 35 pieds de diamètre, comme était celui que Montgolfier fit élever à Annonay, en 1783, a une capacité de 22,000 pieds cubes environ. — Or, 22,000 pieds cubes d'air atmosphérique pèsent à peu près 1 600 livres, tandis que le même volume d'hydrogène d'une pureté suffisante ne pèse guère que 200 livres. — La différence, 1,400 livres, est le poids que le ballon pourrait tenir en équilibre; il suffirait de diminuer ce poids d'une ou deux livres, pour que le ballon s'élevât à une grande hauteur.

Le premier ballon fut, dit-on, construit par un homme qui ignorait complètement ce qu'il faisait. Ayant remarqué que les nuages flottaient à une grande élévation dans l'atmosphère, il lui vint à l'esprit de faire un nuage, de l'enfermer dans un sac et de s'y suspendre. Bien convaincu, d'ailleurs, que les nuages n'étaient autre chose que de la fumée, il alluma un grand feu de bois vert, et plaçant l'ouverture de son sac au-dessus du foyer, il le remplit de fumée. — Certain d'avoir parfaitement raisonné, il éprouva plus de joie que d'étonnement de voir son sac s'élever dans les airs. — Et, bien que cette éléva-

tion fût l'effet de l'air échauffé renfermé dans le ballon, bien que la fumée qu'il y introduisait, et qui seule attirait son attention, fût plutôt un obstacle à l'ascension qu'un moyen de la faciliter, il réussit parfaitement dans cet essai dicté par la rêverie et exécuté par l'ignorance.

L'effet du *ballon à air échauffé* fut plus tard beaucoup mieux compris, et de hardis aéronautes osèrent s'élancer dans les airs, à l'aide de cette nouvelle machine. Montgolfier construisit sur ce principe un aérostat de 70 pieds de hauteur sur 46 de diamètre, ayant une capacité de 60,000 pieds cubes. Une nacelle d'osier y fut suspendue à l'aide de cordages, et la partie inférieure du globe étant ouverte pour servir de passage à l'air dilaté, un vaste réchaud de fil-de-fer y fut attaché avec des chaînes. — Pilatre-des-Rosiers et Darlandes se placèrent alors dans la nacelle, et alimentant le feu qui maintenait la dilatation de l'air, ils s'élevèrent, à plusieurs reprises, à deux ou trois cents toises de hauteur, l'aérostat étant retenu au sol par des cordes. — Plus tard, le 21 novembre 1783, ces hommes intrépides osèrent s'élancer dans l'espace, à ballon perdu. — Ils partirent du bois de Boulogne, s'élevèrent à 500 toises, et descendirent à plus de deux lieues du point de départ, après un voyage de dix-sept minutes aussi surprenant que dangereux.

On ne tarda point à remplacer l'air échauffé par l'*air inflammable* ou *hydrogène*, et c'est au physicien Charles qu'on est redevable de ce perfectionnement. — L'emploi de ce gaz, qui à l'état de pureté est près de quinze fois plus léger que son volume d'air, présentait des avantages incontestables; mais depuis que l'hydrogène carboné est employé à l'éclairage, on préfère ce dernier à l'hydrogène pur, parce qu'on se le procure facilement. — Bien qu'il soit beaucoup plus lourd, les aéronautes trouvent

plus commode de construire de grands ballons, que d'en employer de plus petits qu'ils pourraient remplir d'hydrogène pur, mais qu'ils seraient alors dans l'obligation de préparer eux-mêmes.

Un petit sac de papier, rempli d'air échauffé à l'aide d'une grande lampe, serait un modèle en petit du premier système d'aérostats; et une bulle de savon pleine d'hydrogène donnerait une idée parfaite des ballons à air inflammable. — On la verrait s'élever avec une grande rapidité.

Il n'y a peut-être point de spectacle plus propre à exciter le plaisir et la surprise, que celui d'un ballon qui s'élève majestueusement dans les airs, emportant avec lui un intrépide aéronaute bien au-delà des limites que peut lui-même atteindre l'aigle, ce roi des airs. — Et quel spectacle pour l'aéronaute lui-même, que ce monde qui semble plonger dans l'espace au-dessous de lui. — Nous ne pouvons résister au désir de faire connaître à nos lecteurs les sensations singulières qu'éprouvent les aéronautes; nous en emprunterons la description à MM. Graham et Beaufoy. — Le 17 juin 1824, à six heures du matin, ces deux aéronautes partirent d'Islington, près de Londres. — Au lieu de se sentir s'élever, comme on pourrait le croire, le ballon paraissait stationnaire, et les objets semblaient s'enfoncer au-dessous d'eux. — Ils voyaient distinctement la métropole et ses environs jusque dans ses plus petits détails. — Pas une place publique, pas une rue, pas un édifice ne leur échappait; ils voyaient la foule ramassée sur toutes les places, ils entendaient ses cris; et comme pendant les premières minutes, les objets élevés l'étaient encore relativement au ballon, l'église de Saint-Paul et les collines des environs de Londres offraient une perspective extrêmement agréable.

A 6 heures 8 minutes, ils se trouvaient précisément au-dessus d'un des ponts de la ville, à 2,304 pieds de hauteur. — Le spectacle des navires de toute dimension dont la rivière est couverte, et qu'on distinguait un à un, était très-curieux, mais tous les mouvemens de terrain avaient disparu, et la contrée ne présentait plus que l'aspect d'une carte topographique admirablement dessinée. — Ils distinguaient les arbres, les maisons, tout avait longueur et largeur, mais nulle hauteur. Les grandes routes paraissaient des sentiers de couleur orange; les champs de blé semblaient rayés de lignes d'un vert vif; les haies étaient plus épaisses et de couleur plus foncée. Lorsqu'ils eurent dépassé la couche des nuages, le spectacle devint tout-à-fait différent; on ne voyait jusqu'aux limites de l'horizon qu'une immense étendue semblable à une vaste mer sur laquelle s'élevaient çà et là des masses de formes très-variées et imposantes. Le soleil, qui dardait ses rayons de la voûte céleste d'un bleu d'azur, dorait de la manière la plus resplendissante tous les sommets des nuages amoncelés comme des montagnes, et partout où quelque solution de continuité dans les nuages inférieurs laissait apercevoir la plaine, ces échappées ainsi encadrées produisaient l'effet le plus pittoresque. A 7,872 pieds, ils entendirent distinctement un coup de canon, qui ne fut suivi d'aucun roulement ni écho. A 9,216 pieds, ils en entendirent un second. — Les nuages étaient alors à une grande distance au-dessous d'eux : on les voyait rouler les uns sur les autres et prendre toutes les formes imaginables variées de couleurs vives. A 9,888 pieds, ils purent apercevoir la Tamise, qui ne leur parut qu'un petit ruisseau, mais très-brillant. — Ajoutons à l'appui des théories développées dans le premier chapitre, qu'ils éprouvèrent, à la plus grande hauteur, une vive sen-

sation de froid, et que la sécheresse y était très-grande. Leur ballon avait 37 pieds environ de diamètre, et l'hydrogène dont il était rempli n'était que deux fois et demi plus léger que l'air commun.

Les premières expéditions de ce genre causèrent le plus vif étonnement, et donnèrent lieu à mille rêveries sur les applications qu'on pourrait faire des aérostats; cependant, l'expérience et la réflexion ont montré que cette singulière découverte ne pouvait guère être mise à profit que pour les recherches scientifiques et les expériences à faire dans les hautes régions de l'atmosphère. — Les Français créèrent, il est vrai, un corps militaire d'aéronautes, et le gain de la bataille de Fleurus en 1794, fut, dit-on, attribué aux services rendus par ces ingénieurs; si le gouvernement français avait réellement tiré un moyen de défense de cette découverte, si cette nouvelle application des sciences à l'art militaire eût été effectivement utile, il est à présumer qu'il n'y eût pas renoncé, et ce corps d'aéronautes existerait encore. — On a pensé depuis à faire servir les aérostats aux progrès des sciences géographiques; c'était, pensait-on, un moyen de prendre une connaissance générale des pays inconnus, des vastes plaines de l'Australasie par exemple. — Mais pour cela, il eût été utile de pouvoir imprimer à la machine un mouvement latéral, et c'est ce à quoi l'on n'a pu parvenir jusqu'ici, quoique les mouvemens de haut en bas et de bas en haut s'opèrent avec la plus grande facilité, soit en ouvrant une soupape placée à la partie supérieure du ballon et par laquelle s'échappe une portion du gaz, soit en jetant une partie du lest dont l'aéronaute s'est chargé avant le départ. Quoi qu'il en soit, on rêve encore aujourd'hui à ces perfectionnemens, et l'attention de quelques hommes paraît fortement tendue sur les

moyens de diriger les ballons dans l'espace, comme les vaisseaux sur la mer. Disons-le, ces efforts ne sont guère plus raisonnables que ceux que pourrait faire un insecte suspendu à une masse de bois emportée par un torrent, pour diriger sa course ou remonter le courant. — Il faudrait, en effet, résister le plus souvent à une vitesse de plus de quinze lieues à l'heure.

Un ballon qui n'est qu'à moitié rempli à la surface de la terre, se trouve parfaitement plein à la hauteur de 5,500 mètres environ, ou à peu près une lieue et quart, parce qu'à cette élévation la pression extérieure étant réduite de moitié, le gaz de l'intérieur double de volume. On voit donc que si le ballon était complètement tendu en partant, il crèverait nécessairement dans les hautes régions de l'atmosphère, à moins qu'il ne pût laisser échapper une partie de son gaz. C'est cette même tendance des gaz intérieurs à s'échapper, lorsque la pression extérieure diminue, qui cause les douleurs d'oreilles que ressentent les aéronautes, la membrane du tympan se distendant considérablement; les effets inverses ont lieu pour le plongeur dans sa cloche, parce que cette membrane se distend dans l'autre sens. Elle laisse, dans l'un et l'autre cas, échapper ou pénétrer une petite quantité de gaz.

Les semences cotonneuses des plantes ne flottent point au gré des vents de l'automne, parce qu'elles sont plus légères que l'air dans lequel elles plongent; mais leur volume est si considérable, leur surface si étendue relativement à leur poids, que le frottement qu'elles éprouvent contre les molécules d'air en mouvement les empêche de s'abattre.

Il en est de même de ces petits appareils que construisent les enfans, en arrondissant une feuille de papier à laquelle ils attachent un poids, au moyen de quatre

fils fixés aux angles et réunis en un point au-dessous du parachute : leur poids est plus considérable que celui de l'air, et ils ne s'élèvent que par la force des courans d'air. — Le coin des rues est le lieu que l'expérience leur a appris à préférer pour enlever leur appareil ; il s'y forme, en effet, un de ces courans que les marins connaissent sous le nom de *révolin*..

L'ascension de la flamme et de la fumée

Nous fournit un nouvel exemple de l'équilibre des fluides entre eux. — Ce phénomène n'est autre chose, en effet, qu'un gaz plus échauffé qui s'élève dans un milieu plus froid.

Il y a production de *flamme* toutes les fois qu'un corps dégage, par l'effet de la combustion, quelque substance capable de passer à l'état aériforme et de se combiner avec l'oxigène de l'atmosphère, avec production de chaleur blanche. C'est parce que le charbon de bois et le coke ne contiennent point de principes volatils, qu'ils brûlent sans flamme et ne nous paraissent que comme des pierres chauffées au rouge. La flamme d'une lampe, d'une chandelle, d'une bougie, est due à la combustion du gaz de l'huile, du suif ou de la cire que ces combustibles dégagent. — Le gaz qui sert à l'éclairage, n'est lui-même que celui qu'on retire de l'huile en chauffant cette substance en vases clos à l'abri de l'action de l'atmosphère, afin de prévenir une combustion immédiate.

La *fumée* se compose de toutes les petites poussières, de toutes les particules visibles, qui se séparent du combustible sans se brûler, et qui de plus sont assez légères et assez ténues pour être emportées par le courant de gaz échauffé qui s'élève. Cependant, tout ce qu'il y a de visible dans la fumée est réellement plus lourd que l'air,

et ne tarde point à s'abaisser; de même que la craie en poudre, répandue à la surface de l'eau, y séjourne un moment pour s'enfoncer ensuite. — Si l'on place une chandelle allumée sous le récipient de la machine pneumatique, elle ne tarde pas à s'éteindre, parce qu'elle épuise bientôt la partie de l'air renfermée dans la machine et nécessaire à la combustion; la fumée continue alors à sortir de la mèche, mais elle s'abaisse sur le plateau de la machine, parce qu'il n'y a plus assez d'air pour la faire flotter.

Les cheminées

accélèrent l'ascension de l'air chaud en prévenant sa dispersion. — Une colonne d'air échauffé ou dilaté, de deux pieds de hauteur, est soulevée de bas en haut avec une force double de celle qui soulèverait une colonne d'un pied à la même température et dans le même milieu; une colonne de trois pieds serait soulevée avec une force triple, une de quatre pieds avec une force quadruple, et ainsi de suite. — Il en est, en effet, de l'air échauffé par rapport à l'air froid, comme des liéges ou des bois légers par rapport à l'eau dans laquelle ils plongent : deux, trois, quatre liéges tendraient à s'élever du fond de l'eau à la surface avec plus de force qu'un seul, et une longue bûche de bois léger disposée verticalement à une grande profondeur, acquerrait pendant son ascension une vitesse suffisante pour sortir en grande partie du liquide en arrivant à sa surface, tandis qu'une bûche plus courte ne s'élèverait que très-lentement. — Si nous supposons que l'air soit partout également échauffé dans toute la longueur d'une cheminée de cent pieds de hauteur, et qu'un pied de cette hauteur soit d'une once plus léger que le même volume d'air extérieur, toute la colonne d'air intérieur se trouvera chas-

sée de bas en haut avec une force de cent onces ; cette force ascensionnelle ne serait que de cinquante onces si la cheminée n'avait que cinquante pieds, et ainsi de suite ; de sorte qu'en général on peut dire que le *tirage* est proportionnel à la longueur de la cheminée. — Les faits suivans sont la conséquence de ce principe.

Dans les maisons peu élevées, et dans les appartemens des étages supérieurs, il est bien plus fréquent de voir les cheminées fumer que dans les appartemens du rez-de-chaussée qui ont nécessairement une longueur de cheminée plus grande.

Si l'on a deux feux dans une même chambre, ou dans des chambres séparées et communiquant entre elles, et que les cheminées des deux foyers soient de longueur différente ; — si d'ailleurs les portes et les fenêtres sont assez bien fermées pour ne fournir que peu d'air à la combustion, — la plus longue cheminée fera toujours fumer la plus petite, à températures égales ; — précisément comme la longue branche d'un syphon établit un écoulement en sens contraire dans la branche la plus courte, ou bien encore comme un long morceau de bois fixé à l'extrémité d'un cordeau passant sur une poulie au fond de l'eau, et portant à son autre extrémité un morceau de bois plus court, forcerait ce dernier à s'enfoncer, tandis qu'il s'élèverait lui-même à la surface.

D'après ce que nous avons dit plus haut, on doit concevoir que les longues cheminées, en accélérant le tirage, fournissent d'une manière plus uniforme l'air nécessaire à la combustion, que ne pourrait le faire un soufflet ou tout autre machine soufflante. C'est ce qui fait qu'on préfère de longues cheminées pour les foyers des machines à vapeur. — La chaleur la plus intense que l'art puisse produire s'obtient dans des fourneaux à vent, c'est-à-dire dans ceux qui sont soufflés par la seule

action de la cheminée. — L'importance de la longueur des cheminées explique l'apparence singulière qu'offrent les villes nouvellement construites en Angleterre, les pays où l'on exploite les mines, et en général tous les lieux où se trouvent réunis un grand nombre de machines à vapeur.

Lorsqu'on met en tas des charbons presque éteints, de manière que l'air qui passe à travers la masse forme une colonne d'air chaud d'une hauteur assez considérable, cette colonne, qui se renouvelle à chaque instant, fait l'effet d'un soufflet et souvent les rallume. — Un morceau de papier enflammé, projeté au-dessus d'un feu à demi-éteint, suffit quelquefois pour le faire flamber de nouveau, en accélérant la vitesse de l'air qui le traverse.

Le tirage d'une cheminée dépend aussi de la température que l'air échauffé a acquise; car cette température détermine sa dilatation, et par conséquent sa légèreté spécifique comparativement à l'air extérieur.

Dans ce qu'on appelle *foyers ouverts*, tels que les foyers des salons par exemple, une très-grande quantité d'air froid vient se mêler, à la partie supérieure du foyer, avec l'air qu'il a échauffé, et retarde nécessairement le tirage. — On s'aperçoit facilement du retard occasioné par ce mélange, lorsqu'on dispose une plaque de métal à la partie supérieure de l'ouverture du foyer dans la chambre, de manière à rétrécir cette ouverture; — car alors, comme dans les cheminées dites *à la prussienne* par exemple, au moment même où l'on abaisse le tablier, l'action augmente d'intensité, et le feu commence à ronfler bien plus vivement que si l'on faisait agir le soufflet. — Ce moyen est souvent employé pour accélérer la combustion; il remédie au dé-

sagrément de la fumée en augmentant le tirage. Dans ce système, tout l'air qui entre lorsque la devanture est en partie abaissée, passe sur le combustible enflammé, s'y échauffe, et la cheminée proprement dite ne recevant que de l'air dilaté, *tire* avec une grande force. L'air déjà un peu échauffé dans l'appartement, ne pouvant d'ailleurs s'échapper par cette cheminée, comme cela a lieu dans les cheminées ordinaires, on obtient facilement une bonne température dans la chambre, avec économie de combustible. Dans les *foyers fermés*, comme les fourneaux de machines à vapeur, etc., l'air ne peut absolument passer dans la cheminée qu'après avoir traversé le combustible enflammé : cette disposition augmente considérablement le tirage.

Dans les chambres à deux foyers ou dans les salons qui communiquent ensemble, il est assez difficile de se prémunir contre la fumée lorsque les portes et les fenêtres ferment hermétiquement ; car en donnant même aux deux cheminées une hauteur égale, si le feu de l'une est plus vif que celui de l'autre, un courant s'établira de la seconde à la première, et dirigera le cours de la fumée dans l'intérieur de l'appartement. — C'est un désagrément qu'il faut subir presque toutes les fois qu'on se réunit pour un diner de corps, et cela tient à ce que le feu allumé dès le matin dans la salle à manger, ne l'est au contraire dans le salon de réunion que quelques minutes avant l'arrivée des convives. Cette dernière cheminée, à peine échauffée, continue à alimenter d'air la seconde tout comme si une fenêtre était ouverte, et la fumée passe d'une chambre à l'autre. — Lorsqu'un appartement est assez parfaitement clos pour que l'air extérieur n'y puisse pénétrer, la fumée s'écoule dans la chambre au lieu de passer par le conduit qui lui est réservé.

Toutes les fois que les fenêtres et les portes d'un appartement ferment assez bien pour ne point admettre l'air du dehors, un courant d'air s'établit à travers les cheminées dans lesquelles on ne fait point de feu, pour aller alimenter celles dans lesquelles on en fait; et c'est parce qu'on ne remarque point qu'il en doit être ainsi, que des cheminées fort bien construites passent pour fumer. En effet, lorsqu'on y allume le feu, le courant descendant doit repousser l'air échauffé et la fumée dans la chambre. Cependant si l'on fermait la porte de cette chambre de manière à intercepter pendant quelques minutes toute communication avec les autres parties de l'appartement, et qu'on ouvrît les fenêtres pour admettre l'air du dehors, le tirage s'établirait de bas en haut, et lorsque les parois du conduit à fumée seraient suffisamment échauffées, cette cheminée marcherait comme toutes les autres.

Mais il est des circonstances où il devient plus difficile de remédier à l'inconvénient de la fumée, par exemple lorsqu'une maison basse se trouve située à côté d'une maison très-élevée: car alors le vent qui souffle de la première vers la seconde, est arrêté par les murailles de celle-ci, l'air se condense contre ces murailles, et cherchant à se dilater de tous côtés, il entrera nécessairement avec une certaine force par le sommet des cheminées ouvertes dans cet air condensé, et dès-lors refoulera la fumée dans les appartemens qu'elles devraient échauffer. — Le voisinage des arbres ou de rochers élevés, produit souvent le même effet; il n'y a guère d'autre remède, en pareil cas, que de donner à la cheminée une très-grande élévation. — Il fume encore presque toujours dans les maisons situées de telle sorte qu'elles sont exposées à des courans constans; c'est une vérité qui a passé en proverbe, que les maisons qui font le coin

des rues, sont toujours fumeuses, et l'uniformité d'architecture d'une rangée de maisons est souvent détruite par la nécessité d'élever les cheminées de celles qui se trouvent aux extrémités. — La fumée descend encore quelquefois à travers les cheminées dans lesquelles on ne fait point de feu : cela a lieu lorsquelles sont le seul passage laissé à l'air extérieur pour s'introduire dans l'appartement; car alors les cheminées voisines qui se déchargent à son embouchure supérieure y déversent continuellement leur fumée.

Il arrive souvent, pendant les chaleurs de l'été, que les appartemens dans lesquels on ne fait point de feu, sont infectés d'une forte odeur de suie pendant le jour, cette odeur cessant d'ailleurs aux approches de la nuit. Ce désagrément est dû à ce que pendant le jour la cheminée étant plus froide que l'air extérieur, l'air qui y entre s'y condense, et descend alors dans l'appartement à travers la suie en s'imprégnant plus ou moins de son odeur. Pendant la nuit, l'air extérieur privé de l'influence des rayons solaires devient plus froid que la cheminée qui a absorbé une partie de la chaleur du jour, et le courant change de direction, il devient ascendant. Ces courans d'air dans les cheminées qu'on laisse ouvertes nuit et jour pendant l'été, sont presque aussi réguliers que les brises alternatives de terre et de mer des régions équatoriales.

Ces remarques montreront sans doute combien il est important de concevoir clairement les actions mécaniques de ce fluide invisible, l'air, dans lequel nous sommes constamment plongés. Si les lois de ces mouvemens étaient plus généralement comprises, on ne tarderait point à remédier à un grand nombre de désagrémens plus ou moins préjudiciables au bien-être et à la santé.—Nous sommes frappés d'admiration lorsque nous

remarquons comment ce fait si simple, qu'un fluide plus léger s'élève dans un fluide plus lourd, renouvelle constamment l'air nécessaire à la combustion dans nos foyers; mais combien paraît plus admirable cette loi, lorsque nous voyons son influence sur la respiration des animaux; lorsque nous remarquons qu'elle seule suffit pour leur fournir à chaque instant une nouvelle quantité de ce fluide nécessaire à leur existence. — L'air qui a servi une seule fois à la respiration de l'homme, devient pour lui un véritable poison : mais la température de son corps étant plus élevée que celle de l'atmosphère ambiante; au moment même où les poumons laissent échapper les parties de l'air qui ne peuvent entretenir sa vie, cet air s'élève par la température qu'il a acquise, et va se perdre loin de lui dans l'espace, tandis qu'une nouvelle quantité d'air frais vient le remplacer. Quel moyen eût-il jamais pu employer pour fournir de lui-même à cette alimentation qui s'effectue sans effort, sans aucune attention de sa part, et tout aussi sûrement pendant les heures de sommeil que pendant la veille?

L'art d'échauffer et d'aérer les habitations

Est principalement fondé sur les considérations qui précèdent, et qui sont, il faut le dire, trop mal comprises aujourd'hui, non-seulement du public, mais des hommes mêmes qui se livrent à l'art de guérir, et dont les conseils, souvent si sages d'ailleurs, deviennent complètement inutiles par le peu d'attention qu'ils accordent à une influence de tous les instans.

Le combustible est à un prix si peu élevé en Angleterre, grâces à la prodigalité avec laquelle la nature a doté ses heureux enfans, qu'il s'en fait une consommation véritablement condamnable. Cette insouciance avec laquelle on détruit chaque jour de si énormes quantités

d'un minéral aussi précieux qu'il est abondant, au lieu de contribuer au bien-être et à la santé, comme on pourrait le croire, a conduit à des systèmes de chauffage qui nuisent également à l'un et à l'autre. Leur grand inconvénient est les fluctuations perpétuelles de température intérieure auxquelles ils donnent lieu. Dans les pays froids du nord du continent, où le combustible est plus rare, l'économie a donné naissance à des appareils qui entretiennent beaucoup mieux que les nôtres, à l'intérieur des habitations, une température constante.

On parvient, dans ces climats, à retenir la chaleur déjà obtenue, au moyen de murs épais, de fenêtres doubles, de joints bien fermés; — de plus, les appareils de chauffage n'enlèvent point, comme chez nous, la chaleur déjà produite; ce sont des poêles ou des foyers fermés, alimentés de l'air nécessaire à la combustion, non pas aux dépens de l'appartement qu'ils échauffent, mais bien par l'air extérieur avec lequel ils sont mis en communication. La température obtenue à l'intérieur ne se perdant point, il y a économie de combustible et uniformité de chaleur dans toutes les parties de l'appartement, ce qui dispense ceux qui l'habitent de s'asseoir dans un lieu plutôt que dans un autre. Ces appareils, chauffés une seule fois le matin, suffisent souvent pour maintenir une bonne chaleur jusqu'à la nuit; on peut d'ailleurs obtenir telle température qu'on désire, et la ventilation s'opère très-facilement, sans qu'on ait à redouter de grandes fluctuations ou des extrêmes dans la température.

On peut comparer les lieux où l'on emploie des cheminées ouvertes à de grands entonnoirs qu'on remplit souvent à grands frais d'air échauffé, et qui, laissant perdre continuellement leur contenu, exigent à chaque

instant d'être remplis de nouveau. Une cheminée est un véritable tonneau de Danaïdes, dont on parvient peut-être à mouiller les parois, mais qu'il est impossible de remplir; elles consomment ainsi une énorme quantité de combustible, tout en enlevant à l'appartement presque toute la quantité d'air qu'elles ont échauffée. Deux ou trois minutes suffisent en effet, pour que tout l'air d'une chambre traverse cet énorme canal. La température, d'ailleurs, devient flottante par les plus légères causes; car une porte, laissée un seul moment ouverte, l'abaisse tout à coup; — la chaleur étant d'ailleurs très-inégalement répandue dans la chambre, oblige ceux qui l'habitent à s'asseoir près du foyer, où ils *rôtissent* d'un côté, tandis qu'ils *gèlent* de l'autre. De plus, le peu d'air qu'on a pu parvenir à échauffer occupant les parties supérieures de la chambre, principalement au-dessus du manteau, c'est seulement la partie supérieure du corps qui en profite, tandis que les pieds sont constamment plongés dans co torrent d'air froid qui va alimenter la combustion. Enfin, le courant très-rapide, qui s'élève par la cheminée, emporto à chaque instant des quantités d'air qui ne peuvent être remplacées que par l'introduction de l'air extérieur à travers les crevasses, les fentes, et tous les défauts dans la fermeture des portes et des fenêtres, etc. — Or, rien n'est plus dangereux que de rester ainsi, sans mouvement, exposé à de tels courans, et c'est ce que prouvent trop malheureusement les rhumatismes, les catarrhes et les maladies plus sérieuses qui en résultent. Il existe un vieux proverbe espagnol, qui dit que

> Si le vent froid vous atteint par un trou,
> Il faut tester; car c'en est fait de vous.

Ce conseil est peut-être plus sage qu'on no le pense, bien que la poésie n'en soit pas très-brillante.

Les maladies de poitrine, en effet, emportent un cinquième au moins des habitans de la Grande-Bretagne. Il faut, sans aucun doute, attribuer une partie de cette mortalité, aux changemens si fréquens de la température extérieure; mais les mauvais systèmes de ventilation et de chauffage trop généralement adoptés, y contribuent bien certainement pour la plus grande part. Pour apprécier l'influence de ces changemens de température sur le développement de ces maladies, il suffit peut-être de remarquer — que les mineurs qui passent la plus grande partie de leur vie dans les entrailles de la terre, où la température est sensiblement constante, n'y sont nullement sujets, tandis que leurs parens, leurs frères, exposés aux vicissitudes du climat, en sont souvent victimes; — que les bouchers, et tous ceux qui sont assez constamment exposés au grand air pour s'endurcir contre ces changemens de température extérieure sont presque tous exempts de cette maladie; — que les consomptions sont à peine connues en Russie, où de bons appareils de chauffage, et des maisons bien closes conservent à l'intérieur une température constante, tandis que des habillemens convenables au climat, sont une protection suffisante contre ses rigueurs; — que dans tous les pays enfin, dans les régions polaires comme dans les régions tempérées ou équatoriales, ces maladies de poitrine sont d'autant plus communes que la température est plus variable. Nous devons remarquer ici que ces consomptions ne sont point les seules conséquences de ces fréquentes variations; elles amènent encore à leur suite la plupart des maladies aiguës si communes en hiver. Enfin, il est peu de malades qui ne puissent remarquer que s'ils eussent évité le froid dans telle ou telle occasion, ils auraient conservé leur santé.

Puisque la température a une si grande influence sur

le bien-être et la santé, il semble qu'elle devrait être une des considérations les plus importantes dans le traitement des maladies. Il n'en est point ainsi cependant, et l'insouciance à cet égard est portée à un degré inconcevable. On ne peut attribuer qu'à l'ignorance cette coupable négligence qui permet ainsi à la mort et aux maladies de cohabiter avec nous; la nature subtile et invisible de l'air et du calorique explique peut-être pourquoi l'étude de leurs actions est restée si long-temps stationnaire, et comment il se fait que les hommes qui se livrent à l'art de guérir négligent trop souvent encore leur immense influence.

Les foyers ouverts sont si généralement en usage, c'est une habitude si invétérée aujourd'hui, de prendre pour compagne, dans nos longues soirées d'hiver, la flamme brillante du combustible, qu'il n'est point probable qu'on renonce jamais à ce système de chauffage; espérons dès-lors que l'étude des phénomènes qui appellent ici notre attention donnera naissance à des perfectionnemens qui feront disparaître son infériorité, sous le rapport hygiénique et économique.

Les considérations suivantes doivent trouver leur place ici. — Les petites chambres, en hiver, sont moins saines que les grandes; et cela tient à ce que l'air froid qui se précipite vers le foyer, à travers les jointures des portes et des fenêtres, n'a point le temps de s'échauffer par son contact prolongé avec l'air de la chambre. — Il est utile de placer des poêles sur les escaliers ou dans les antichambres, parce qu'ils échauffent l'air avant qu'il pénètre dans l'appartement, et préviennent les frissons dangereux qu'on éprouve en sortant d'une chambre échauffée pour aller au dehors. — Il est important de n'admettre, dans les appartemens, que la quantité d'air froid nécessaire à la combustion et à la

ventilation. C'est donc une grande faute que de laisser complètement ouvertes, nuit et jour, les cheminées dans lesquelles on n'allume point de feu. — Autant vaudrait percer un trou dans la muraille ou laisser un carreau ouvert. — Le meilleur moyen d'alimenter le foyer de la quantité d'air nécessaire à la combustion, serait peut-être de le mettre directement en communication avec l'air extérieur, au moyen de tubes munis de soupapes propres à en régler l'admission. — L'air pourrait ainsi, ou se répandre immédiatement dans la chambre, ou s'échauffer pendant quelque temps autour du foyer, avant d'y pénétrer. — Dans un appartement très-clos, la ventilation doit absolument s'effectuer à l'aide d'une ouverture pratiquée vers la partie supérieure de la chambre, afin que l'air qui a servi à la respiration puisse s'évacuer. Dans ceux où on fait usage de foyers ouverts, la ventilation s'effectue par les renouvellemens fréquens de la totalité de l'air auxquels ce système donne lieu.

On pourrait, dans les chambres destinées aux malades, supprimer complètement les courans d'air froid, et obtenir une température constante en conservant la vue du foyer ; il suffirait de fermer la cheminée par une devanture en glaces, qui intercepterait toute communication entre l'appartement et le foyer. La chambre recevrait alors la chaleur du feu à travers les glaces, comme les plantes enfermées dans les serres reçoivent les rayons du soleil. Il est vrai que la chaleur, dégagée pendant la combustion, ne traverse point le verre aussi promptement que les rayons solaires, mais la différence est peu importante. Il est bien entendu que cette devanture serait divisée en petites vitres soutenues par des cadres métalliques capables de résister à la chaleur, et qu'il faudrait y laisser un passage qu'on ouvrirait ou

fermerait à volonté, selon que l'exigerait l'entretien du foyer. L'air nécessaire à la combustion s'introduit dans ce système, comme nous l'avons expliqué plus haut, c'est à-dire par un tube à soupape, en communication directe avec l'air extérieur. La ventilation de l'appartement peut s'effectuer ici par une ouverture pratiquée dans la cheminée, et vers la partie supérieure de l'appartement; — on réglerait d'ailleurs la température intérieure avec une grande précision, en fermant cette ouverture par un registre à coulisse, qui se mouvrait avec les contractions ou les dilatations d'une tige métallique dont la longueur dépendrait toujours de la température de la chambre (1). — L'auteur a fait disposer

(1) M. Peclet a vivement critiqué ce système à la page 414 du tome II de son Traité de la Chaleur. « Nous parlons de cette disposition, dit-il, pour ne rien omettre; mais il est facile de voir qu'elle » est *réellement ridicule.*

» Le calorique rayonnant, qui pénètre déjà en si petite quantité » dans les appartemens, serait en grande partie intercepté par les » glaces, et $\frac{1}{6}$ au plus arriverait dans l'appartement.

» A la vérité la glace en s'échauffant communiquerait par contact » et par son rayonnement propre, de la chaleur à l'air: mais il y en » aurait beaucoup aussi de réfléchi, de rayonné et de perdu par le contact de l'air sur la surface opposée.

» Et il faudrait établir un système particulier de ventilation dans » l'appartement.

» Ainsi cette invention est un moyen compliqué, dispendieux et embarrassant, de perdre beaucoup de chaleur sans aucun avantage que » l'on ne puisse obtenir bien plus simplement. »

Malgré toute l'estime qu'a pu m'inspirer la lecture du Traité de la Chaleur pour M. Peclet, je ne puis m'empêcher de relever ici une critique à laquelle une traduction inexacte me paraît avoir donné lieu.

Il est très-vrai que le calorique rayonnant serait intercepté par les glaces, mais il n'est pas aussi certain que $\frac{1}{6}$ au plus arriverait dans l'appartement. Il résulte des expériences de Delaroche, que M. Peclet lui-même a citées page 8 de son premier volume, qu'une lame de verre arrête les $\frac{17}{18}$ de la chaleur émise par un corps à 180°, les $\frac{6}{7}$ de la chaleur émise par un corps à 400° et $\frac{1}{2}$ seulement si la température est

sur ce principe, une chambre destinée à devenir la résidence d'hiver d'une personne menacée de consomption, et les heureux résultats qu'il a obtenus, l'ont conduit à se demander si le plus grand nombre de ceux qu'on envoie dans les pays méridionaux, et que la fatigue du voyage et l'isolement où ils se trouvent conduisent si souvent au tombeau, ne pourraient point recouvrer la santé au milieu de leur famille, de leurs amis, à l'aide d'un traitement judicieux, favorisé par un système convenable de chauffage et de ventilation. — Si l'on guérit presque infailliblement un jeune homme, en le faisant ou mineur ou boucher, ne peut-on point espérer la même immunité pour toutes les professions et toutes les conditions sociales, lorsque les circonstances qui amènent ces terribles maladies viendront à être plus généralement connues.

---

au rouge-blanc comme celle de la flamme. — On lit encore, page 359 du tome II, que la perte de la chaleur par les vitres est assez considérable : et qu'un mètre carré de verre ordinaire maintenu d'un côté à une température constante de 100 degrés, et de l'autre en contact avec l'air à 15°, laisse passer par heure 968 unités de chaleur, c'est-à-dire assez de calorique pour échauffer d'un degré 968 kilogrammes d'eau. Il est très-vrai que la flamme du foyer est à une certaine distance de la glace, mais il ne se perdrait point autant de chaleur par le contact de l'air sur la surface opposée, que devait le supposer M. Peclet. — Il a fait dire à M. Arnott que le feu était alimenté par une ventouse débouchant *en avant de l'âtre*, et c'est ce que je n'ai pu voir dans le texte. M. Arnott dit positivement que cette alimentation se fait *through tubes leading directly from the outer air to the fire place*; or, *fire place* n'est point *hearth*; c'est le foyer même, et non l'âtre. — D'ailleurs, M. Arnott n'a point prétendu qu'on dût, dans tous les cas, employer ce système ; c'est pour les chambres de malades seulement qu'il l'a proposé, et l'expérience paraît avoir prouvé qu'il n'était pas *si ridicule*. Cette petite tache dans l'ouvrage de M. Peclet, n'ôte rien à son mérite, et les lecteurs qui se livrent aux applications, ne pourront mieux faire que de le consulter.

(*Note du traducteur.*)

Il s'en faut de beaucoup que nous ayons, dans cette section, montré toute l'influence de la température sur la santé ; — *l'habillement, les bains chauds ou froids, l'exercice, etc.*, se rattachent naturellement à cette question ; nous reviendrons plus tard sur ces importans objets.

Les vents ou les courans de l'atmosphère

Sont des phénomènes qui dépendent, en grande partie, de l'action réciproque des fluides de densité différente ; — de même que l'huile introduite dans le fond d'un vase rempli d'eau, se trouve chassée de bas en haut par la pression du fluide qui l'environne, et va en occuper la surface ; de même les couches d'air qui reposent immédiatement à la surface du globe, échauffées par leur contact avec les parties de la terre qui absorbent les rayons du soleil, s'élèvent aux régions supérieures de l'atmosphère, pressées par le fluide plus dense qui les environne et qui se précipite vers les lieux qu'elles occupaient afin de rétablir l'équilibre dans la masse. Telle est, en partie, la cause des vents. Le mouvement des nuages et celui des aérostats, rendent sensibles à la vue ces courans de l'océan aérien.

Si le globe terrestre était en repos, et que le soleil dirigeât toujours ses rayons sur la même surface, la température de la colonne atmosphérique, située au-dessus d'elle, s'élèverait à un haut degré, et toutes les couches de cette colonne monteraient successivement comme l'huile à la surface de l'eau, ou comme la fumée au-dessus d'un foyer fortement échauffé, tandis que des courans d'air ou des vents se dirigeraient constamment de toutes les parties inférieures vers cette surface centrale. Mais la terre est continuellement en mouvement sur elle-même et autour du soleil, la région

moyenne, la ceinture ou zone équatoriale peut donc être assimilée à la surface de l'hypothèse précédente; elle est le lieu sur lequel le soleil, depuis l'origine des temps, promène constamment ses rayons; il doit donc y avoir constamment, il y a donc toujours eu des courans vers cette zone, les uns dirigés de la partie australe, les autres de la partie boréale. Telle est la cause de ces vents *du commerce* ou vents *alisés*, sur l'influence desquels les marins comptent aussi sûrement que sur le retour périodique du soleil, dans la plupart des situations comprises entre les trentièmes degrés de latitude boréale ou australe.

Ces vents, toutefois, ne paraissent point raser la surface terrestre dans la direction des méridiens, c'est-à-dire, ne paraissent point souffler directement du nord et du sud, comme cela a lieu très-réellement; cela tient au mouvement de rotation de la terre sur son axe, mouvement qui en s'opérant de l'ouest à l'est, donne au vent du nord l'apparence d'un vent qui vient droit du nord-est, et au vent du sud celle d'un vent du sud-est. Ces apparences peuvent assez facilement se comprendre par les faits suivans : — Lorsque l'atmosphère est parfaitement calme, et qu'on est lancé au galop dans une plaine, il semble que le vent vous souffle avec une grande force dans la face. — Si l'on galope vers l'est, et que le vent souffle directement du nord ou du sud, la double sensation qu'on éprouve se compose en une sensation résultante, et dans le premier cas le vent paraît souffler du nord-est, tandis que dans le second il semble venir du sud-est. — Autre exemple : Faites tourner une sphère sur un axe vertical, et laissez rouler du pôle supérieur une petite balle, ou mieux encore, laissez couler du même point un petit filet d'eau, la balle ou l'eau n'acquerront point immédiatement la

vitesse du globe, mais ils tendront à descendre par la ligne la plus courte, du pôle vers l'équateur de la sphère; cependant, la trace laissée par le liquide à la surface de la sphère ne sera point un méridien, mais bien une ligne oblique qui, si elle était prolongée, ne passerait point par le pôle inférieur. — C'est ainsi que la rotation de la terre donne aux vents alisés une direction vers l'ouest, et ce n'est point, comme on le dit quelquefois, parce que le soleil les entraîne qu'ils ont cette direction.

On sait qu'à la limite où ils règnent, c'est-à-dire, à trente degrés environ dans la direction australe et boréale, à partir du lieu occupé par le soleil, ces vents semblent venir presque directement de l'*est*, tandis qu'à mesure qu'on s'approche de la ligne centrale, ils frappent plus directement les navires dans le sens *nord-sud* ou *sud-nord*. Cet effet est dû à ce qu'en arrivant aux parallèles extrêmes, l'air froid en s'échauffant se dilate et s'élève avant d'avoir acquis la vitesse de rotation de la zone qu'il occupe; il se meut avec moins de rapidité qu'elle, et les corps situés sur cette zone frappant l'air de l'ouest à l'est avec tout l'excès de leur vitesse, il résulte le même effet que si la terre étant immobile le vent d'*est* soufflait constamment sur ces corps. Cependant, à mesure que ces courans d'air cheminent, ils participent de plus en plus de la vitesse de rotation du globe, qu'ils ont acquise enfin presque complètement lorsqu'ils arrivent à la ligne centrale ou milieu de la zone de 60 degrés; dès-lors le vent d'*est* se fait de moins en moins sentir, à mesure qu'on se rapproche de cette ligne, sur laquelle il devient beaucoup moins sensible. Tel serait à peu près un fluide versé sur une roue tournant horizontalement, et qui s'avancerait de plus en plus du centre vers la circon-

férence. Parvenu dans les points voisins de cette limite du cercle, il n'aurait point encore acquis toute sa vitesse, mais la continuité de la rotation finirait par la lui communiquer complètement; ce fluide serait alors en mouvement comme la circonférence, mais il serait en repos par rapport à elle. Il est bien entendu que nous ne faisons point entrer ici l'influence de la force centrifuge.

Pendant que l'air dense des contrées polaires se précipite vers l'équateur pour remplir le vide qui s'y forme, et donne ainsi naissance aux vents alisés, celui que l'action permanente du soleil a dilaté et élevé doit nécessairement former dans les régions supérieures de l'atmosphère un contre-courant qui va distribuer sa chaleur, en se dirigeant en sens inverse du premier. — C'est ce qui a lieu en effet, et l'existence de ce phénomène, prévue d'abord par le raisonnement, a été prouvée depuis par l'observation. — Ainsi l'on a reconnu que le sommet du pic de Ténériffe était constamment exposé à un vent violent, soufflant dans une direction contraire à celle des vents alisés qui soulèvent à ses pieds la surface de l'Océan. — Ainsi, dans l'année 1812, la poussière volcanique, lancée de l'île de Saint-Vincent, passa en nuages épais au-dessus de la Barbade, au grand étonnement de ses habitans, et alla tomber à plus de cent milles de distance, après avoir parcouru ce trajet précisément en sens inverse des vents violens auxquels les vaisseaux ne peuvent se soustraire que par un long détour. — Ainsi, dans le passage du Cap de Bonne-Espérance à Sainte-Hélène, la lumière du soleil est souvent éclipsée pendant plusieurs jours par une masse de nuages épais, qui se dirige vers le sud, à une grande hauteur dans l'atmosphère. — Ces nuages ne sont autre chose que la vapeur d'eau qui s'est élevée sous l'équateur, avec l'air échauffé, et qui se condense de nouveau en se

rapprochant des régions plus froides de l'hémisphère austral.

En dehors des tropiques, où l'influence solaire est beaucoup moins grande, les vents sont occasionellement soumis à d'autres causes, que malheureusement on ne connaît point encore parfaitement. Beaucoup moins réguliers dans les climats tempérés, on les appelle *vents variables;* cependant on peut regarder comme une règle générale, et qui s'applique à ceux-ci aussi bien qu'à ceux-là, ce que nous avons dit des vents alisés, notamment : que l'air en se mouvant des pôles, austral ou boréal, où il était au repos, vers les régions équatoriales, doit produire les effets d'un vent d'*est* ou d'un vent dirigé en sens inverse du mouvement diurne, jusqu'à ce qu'il ait acquis la vitesse de la zone au-dessus de laquelle il souffle ; et réciproquement, que l'air échauffé dans les régions équatoriales, et élevé vers les parties supérieures de l'atmosphère, où il avait à peu près acquis une vitesse correspondante, doit, en retombant vers les pôles avec cet excès de vitesse de l'ouest à l'est, frapper les corps dans le même sens. — Ces vents de l'ouest, dans un grand nombre de situations en dehors des tropiques, sont presque aussi réguliers que les vents de l'est dans la zone intertropicale, ils n'auraient pas moins de droit que ceux-ci au nom de *vents du commerce,* tant ils abrègent la durée du passage de New-York à Liverpool, comparée à celle du passage inverse, c'est-à-dire de Liverpool à New-York. — Ainsi, dans l'hémisphère boréal, le vent nord-vrai produit l'effet d'un vent du nord-est, et le vent sud-vrai devient un vent du sud-ouest. — L'Angleterre est exposée à ces deux vents pendant trois cents jours de chaque année. — On conçoit que les phénomènes doivent être inverses dans l'hémisphère austral.

Nous avons vu que le soleil, en dirigeant ses rayons sur une partie de la surface terrestre, avait pour effet presqu'immédiat d'élever les couches d'air en contact avec cette surface; cependant, lorsque ces rayons dardent dans l'Océan, ils pénètrent profondément dans la masse fluide, et n'élèvent la température de la couche supérieure que d'une quantité comparativement assez faible; l'air en contact avec cette couche ne s'échauffe donc lui-même que faiblement. Cela posé, il est facile de comprendre la cause de ces vents connus sous le nom de *brises de mer*, et qui rafraîchissent pendant la chaleur du jour les îles et les côtes des régions équatoriales; l'air s'élève en effet de leur surface, tant que le soleil est sur l'horizon, et il est continuellement remplacé par l'air frais de la mer, qui afflue de toutes parts pour remplir le vide. Il faut avoir habité ces climats, pour se faire une idée juste de la sensation délicieuse que ramènent ces brises de mer après la chaleur étouffante qui les précède. — Il faut avoir guetté l'apparition de ces rides légères qui se forment sur la surface de l'eau, à la limite de l'horizon; les avoir épiées grossissant de plus en plus, à mesure qu'elles se rapprochent de la terre, et blanchissant bientôt le morne espace qui s'offrait d'abord à la vue, avoir recueilli la fraîcheur qu'elles semblent exhaler en se déroulant sur la plage.

Un phénomène inverse a lieu pendant la nuit. La surface solide ne recevant plus les rayons solaires, a bientôt perdu le peu de chaleur qu'elle n'avait point dépensé, tandis que la mer, dont la masse a été comme imprégnée de calorique, l'abandonne peu à peu pendant toute la durée de la nuit. C'est sa surface qui paraît à son tour chargée de réchauffer les couches d'air en contact avec elle; elle les élève, tandis que celles qui

sont situées au-dessus de la terre s'abaissent et se répandent alors horizontalement pour aller remplir le vide qui se forme autour d'elles. — Telle est la cause des *vents de terre* dans les régions des tropiques. Mais il y a cette différence entre ceux-ci et les premiers, qu'ils sont souvent chargés d'exhalaisons marécageuses, et qu'ils renvoient à la mer des miasmes dangereux en échange de la pureté et de la fraîcheur de ses brises, qui seules rendent habitables la plupart des îles et des côtes de cette zone si justement nommée *torride*.

La situation particulière de l'Asie donne naissance à des brises de mer et de terre très-remarquables, puisqu'elles ont une durée de six mois. Ce grand continent, situé presque en entier au nord de la ligne équinoxiale, s'échauffe considérablement pendant les chaleurs de l'été, c'est-à-dire, pendant que le soleil se trouve dans la région boréale; un courant constant doit donc, d'après ce que nous avons dit ci-dessus, se diriger du sud au nord, — et dès-lors produire les mêmes effets qu'un vent du sud-ouest; des effets inverses ont lieu lorsque le soleil repasse dans la région australe, c'est-à-dire, que la brise de terre souffle dans le sens nord-sud réellement, et en apparence comme si elle venait du nord-est. — Ces vents ont reçu le nom de *moussons*, les services qu'ils rendent à la navigation commerciale leur donnent autant de droits que les vents alisés à la dénomination de *vents du commerce* qu'on paraît avoir réservée pour ceux-ci; dans l'enfance de la navigation, ils servaient aux marins de boussole et de moteur à la fois, et les départs et les retours étaient invariablement fixés par le changement de direction périodique de la *mousson*. Sur les plages occidentales de l'Afrique et de l'Amérique, les vents alisés sont sensiblement influencés par l'échauffement périodique et alternatif des couches d'air

en contact avec les surfaces liquides et solides, mais beaucoup moins cependant qu'en Asie, et toujours suivant les lois que nous avons développées plus haut.

Ces tourbillons effroyables des tropiques qui engloutissent trop souvent, hélas! tout ce qui se trouve à la surface des eaux; ces violentes raffales, ces grains auxquels le marin est exposé sous toutes les latitudes, sont dus à quelques actions chimiques qui s'opèrent subitement dans l'atmosphère, mais qu'on ne comprend encore que bien confusément aujourd'hui.

La cuve pneumatique et le gazomètre du chimiste, sont des appareils que nous ne pouvons passer sous silence, puisqu'ils reproduisent dans leur action la loi qui nous occupe, notamment qu'un fluide plus léger est repoussé à la partie supérieure d'un fluide plus lourd. — La cuve est surtout employée au transvasement des gaz.

Ces cuves (*fig.* 38) sont en bois doublé de plomb à l'intérieur, ou en tôle vernie des deux côtés. A environ trois pouces au-dessous de la partie supérieure, sont deux rainures qui reçoivent une tablette d'environ le tiers de la longueur de la cuve; cette tablette est percée de trous qui reçoivent inférieurement un entonnoir de bois léger; très-large et peu profond, qui sert au transvasement du gaz, et supérieurement les cloches *b.c*, dont l'orifice est placé au-dessus des trous de la tablette. — Voici l'usage de cette cuve; on commence par la remplir d'eau jusqu'à ce que son niveau s'élève d'un pouce environ au-dessus de la tablette; alors si l'on y plonge un flacon, une cloche dont l'orifice soit dirigé en haut, le liquide y afflue et en chasse l'air atmosphérique qu'elle contient; en la retournant l'orifice dirigé en bas, et la glissant sur la tablette dans la position *b*, elle restera pleine d'eau, puisque ce liquide y sera main-

tenu par le poids de l'atmosphère sur la cuve, comme le mercure dans le tube barométrique. Si l'on amène alors sous la tablette un flacon rempli d'un gaz quelconque, et qu'on le retourne, son orifice dirigé sous l'entonnoir, l'air montera dans la cloche *b* et chassera l'eau dans la partie supérieure, comme la figure le représente. C'est de cette manière que les chimistes transvasent toute espèce de gaz d'un vaisseau dans un autre, c'est-à-dire en faisant monter le fluide plus léger contenu dans le vase placé au-dessous de la tablette, jusque dans le vase placé au-dessus d'elle, en vertu de l'action du fluide plus lourd. *d* est un ballon renfermant les substances qui, par leur réaction, donnent naissance au développement du gaz qu'on veut obtenir; ce ballon est mis en communication avec la cloche *b*, à l'aide d'un tube recourbé : l'action mécanique est d'ailleurs la même pour le cas actuel que pour le précédent. Comme il existe une assez grande quantité de gaz qui se laissent promptement absorber par l'eau, ou sur lesquels ce liquide exerce une action chimique, on le remplace par le mercure.

Le *gazomètre* (*fig.* 39) n'est autre chose qu'une grande cloche *a* plongeant dans l'eau par sa partie ouverte; cette eau est elle-même contenue dans une autre cuve de même forme *b c*, dans laquelle pénètrent deux tubes *fe*, à travers lesquels le gaz s'introduit et s'écoule. La partie *a* est supportée par un cordeau passant sur deux poulies et tiré par un poids *d* qui fait équilibre au poids du gazomètre, de sorte que le plus léger effort suffit pour l'élever ou l'abaisser. Le gaz introduit par le tube *f*, et qui va se rendre dans *a*, tend à soulever cette partie de plus en plus au-dessus du niveau *b c*; lorsqu'il est à peu près rempli, on intercepte la communication entre le tuyau *f* et l'appareil qui fournit le gaz.

Les gazomètres destinés à l'éclairage des villes, ont des dimensions bien autrement grandes que le gazomètre du chimiste; la compagnie française en a fait construire un en maçonnerie solide, qui n'a pas moins de cent pieds de diamètre, sur cinquante pieds de profondeur; en Angleterre on préfère les établir en fonte, parce qu'elle y est comparativement peu chère. — Le gaz s'échappe dans les tuyaux de conduite avec une force proportionnelle à la pression à laquelle il est soumis, pression qu'on règle très-parfaitement par une infinité de moyens, et qu'on rend le plus souvent égale à celle d'une colonne d'eau de deux pouces de hauteur; c'est-à-dire que tout tube en communication avec le vase d'un côté, et plongeant dans l'eau par son autre extrémité, laissera échapper le gaz s'il plonge à moins de deux pouces de profondeur verticale.

Ce serait entrer sur le domaine de la chimie, que de traiter en particulier de toutes les substances qui existent sous forme gazeuse dans les circonstances ordinaires; nous croyons cependant devoir donner quelque idée de la nature intime des fluides qui nous ont occupé jusqu'ici, et terminer ainsi ce que nous avons à en dire.

Des cinquante substances environ qui, par leurs diverses combinaisons, forment la matière entière du globe, il en est cinq qui, à l'état libre et sous les influences de température et de pression ordinaires, existent à l'état de gaz. — L'eau est un composé de deux de ces substances qui ont reçu le nom d'*oxigène* et d'*hydrogène;* un atome d'oxigène et deux atomes d'hydrogène, forment par leur combinaison un atome d'eau. Si l'on fait passer un courant électrique à travers ce liquide, il se décompose graduellement, un courant de gaz oxigène se rend d'un côté, tandis qu'un courant de gaz hydrogène passe de l'autre; mais si l'on peut dé-

composer l'eau, on peut aussi la composer, il suffit pour cela de renfermer dans un appareil convenable les proportions voulues des deux gaz ci-dessus, et d'y faire passer une étincelle électrique. — Il se produit une forte explosion, et les gaz sont combinés; c'est de l'eau qu'on retrouve dans l'appareil.

Cet *oxigène* est très-abondamment répandu dans la nature; il forme les huit-neuvièmes en poids de l'Océan, un quart de la masse atmosphérique, et peut-être un quart de la matière solide du globe : bien qu'il soit regardé généralement comme un gaz, la millionième partie de l'oxigène n'existe peut-être point à l'état aériforme; il se combine très-promptement avec presque toutes les substances connues, et le plus souvent avec dégagement de chaleur et de lumière. Le mot *combustible* sert principalement à désigner les substances qui se combinent rapidement avec lui.

L'oxigène prend une variété singulière de caractères sous ses différentes combinaisons : ainsi, avec l'*hydrogène*, il forme l'eau; avec le *plomb*, il forme cette substance employée par nos peintres sous le nom de *minium*; avec le *nitrogène* ou *azote*, il constitue l'air atmosphérique que nous respirons; dans une autre proportion, ces gaz forment ce qu'on appelle l'*oxide nitreux*; dans une troisième, ils forment l'*eau forte* des anciens ou *acide nitrique* des modernes; combiné avec le soufre, il forme l'*acide sulfurique*; avec le fer et les métaux, il forme leurs oxides, etc., etc.; mais le rôle le plus important qu'il joue dans la nature, c'est comme partie constituante de l'atmosphère, puisqu'il entretient la vie chez les animaux et les végétaux. C'est cette propriété qui lui avait fait donner autrefois le nom d'*air vital*. L'oxigène pur est un peu plus lourd que l'air atmosphé-

rique, le poids spécifique de celui-ci étant 1, le poids de celui-là est 1.1026.

Un atome d'oxigène combiné avec un atome de carbone forment un atome d'*acide carbonique*, autre gaz incolore d'une odeur piquante et d'une saveur légèrement aigre, dont la densité est 1.5245, celle de l'air étant toujours l'unité: cet excès de densité permet de le transvaser d'un flacon dans un autre à la manière de l'eau: on est parvenu, en le refroidissant en même temps qu'on le comprimait, à le faire passer, à l'état liquide. L'acide carbonique entre pour quelque chose dans l'air atmosphérique; il s'en trouve aussi dans presque toutes les eaux, et quelquefois en assez grande quantité pour les rendre mousseuses. C'est le gaz acide carbonique qui fait pétiller le champagne. — Son action sur l'économie animale est délétère. — Il existe un grand nombre de cavités remplies d'acide carbonique libre, qui ne se répand dans l'air qu'avec une extrême lenteur, à cause de sa densité. La Grotte du Chien, près Pouzzole, aux environs de Naples, est devenue célèbre par la bizarrerie apparente de quelques phénomènes auxquels l'acide carbonique qui s'y répand constamment donne lieu depuis un temps immémorial. Cette grotte ne contient qu'une couche d'acide carbonique de quatre à six décimètres d'épaisseur; c'est ce qui fait qu'un homme debout peut y pénétrer sans danger, et que les chiens y sont asphyxiés. Au reste, ces dégagemens d'acide carbonique sont moins rares qu'on le pense, et l'on a souvent eu l'occasion de les observer dans les caves de quelques quartiers de Paris, où ils ont causé de funestes accidens. Ce gaz arrive dans les cavités souterraines après s'être développé dans les terrains avoisinans; de même que l'hydrogène dans les mines, il doit y affluer en plus grande quantité lorsque le baromètre baisse brusque-

ment; comme le gaz acide carbonique éteint les corps en combustion, il est prudent de ne pénétrer dans ces cavités qu'après s'être assuré qu'une lumière y brûle tranquillement; si sa flamme pâlit, si elle se rétrécit, et à plus forte raison si elle s'éteint, il faut se garder d'y entrer avant d'en avoir renouvelé l'air. — La combustion du charbon donne lieu à la formation de l'acide carbonique, il est donc extrêmement important de ne point s'y exposer; la fermentation donne aussi naissance à un dégagement de ce gaz, et cette circonstance a souvent été funeste à ceux qui demeurent quelque temps appuyés sur les bords d'une cuve à vin ou à bière.—C'est un fait connu dans les brasseries, que les rats assez imprudens pour se hasarder sur une planche mise en travers de la cuve, paient de leur mort leur ignorance en chimie.

L'*hydrogène* est, comme nous l'avons dit, le second corps constituant de l'eau, ce qui lui a fait donner le nom qu'il porte et qui veut dire *générateur* de l'eau. — La densité de ce gaz est 0.688, celle de l'air étant l'unité, ce qui montre que le second est environ quatorze fois plus lourd que le premier, et explique son emploi dans les voyages aérostatiques. — Un mètre cube de ce gaz pèse 89g.4, et un mètre cube d'air 1299g.1. — Un courant d'hydrogène dirigé dans l'air sur un morceau de platine en mousse, échauffe ce métal jusqu'à l'incandescence, et l'enflamme alors. C'est sur cette propriété qu'est fondée la lampe connue sous le nom de *lampe de* Dobereiner, qui reconnut le premier cette propriété: combiné avec le carbone, il cause dans les mines de houille de terribles accidens, dont nous avons déjà parlé. Les feux naturels que l'on remarque en Italie, sur la pente des Apennins, sont dus à des dégagemens de ce gaz hydrogène protocarboné. — Combiné

avec le carbone dans une autre proportion, il sert à l'éclairage des villes et des habitations. — L'hydrogène pur forme un neuvième de l'Océan, il entre pour beaucoup dans la composition des substances organiques. — On présume qu'il en existe à l'état libre dans les plus hautes régions de l'atmosphère.

L'*azote*, ou *nitrogène*, est, comme l'oxigène, un des principes de l'air atmosphérique, dont il forme environ les trois-quarts; sa densité est 0.976, celle de l'air étant l'unité. Il entre pour un quart dans la chair des animaux, et on le trouve en petite quantité dans quelques autres combinaisons : seul, il ne peut entretenir la vie, ce qui lui a fait donner le premier nom d'*azote*, qu'il paraît avoir conservé; combiné avec l'oxigène, il forme l'acide nitrique ou eau-forte des anciens.

Nous bornerons ici ces détails sur la nature des corps dont nous avons étudié les actions mécaniques; c'est dans les Traités de Chimie que le lecteur pourra compléter son instruction à cet égard.

SECTION TROISIÈME.

HYDRODYNAMIQUE.—PHÉNOMÈNES DES FLUIDES EN MOUVEMENT.

ANALYSE DE LA SECTION.

La matière, en passant de l'état solide à l'état fluide, est toujours soumise aux lois de la GRAVITÉ *et de l'*INERTIE. *Les liquides et les gaz, proportionnellement à leurs masses, résisteront donc au mouvement; ils pourront le recevoir, le communiquer à leur tour; ils éprouveront des frottemens comme les solides, etc. — C'est ce que nous montreront :*

1° *Leur mouvement dans les canaux et leur écoulement.*

2° *Les vagues.*

3° *La résistance qu'ils opposent aux corps qui se meuvent dans leur sein; et l'effet mécanique qu'ils produisent en se mouvant eux-mêmes.*

4° *Quelques notions sur l'art d'élever les eaux.*

* *Du mouvement des fluides dans les canaux, et de leur écoulement.* *

Nous avons vu que lorsqu'on mettait un tube recourbé en communication avec un réservoir, l'eau s'élevait dans ce tube à la hauteur du niveau du liquide dans ce réservoir; mais il doit paraître évident qui si ce tube était coupé un peu au-dessus du coude qu'on lui a fait faire pour le relever de bas en haut, l'eau jaillirait précisément à la même hauteur. — Nous savons aussi qu'un corps lancé de bas en haut a précisément la même vitesse en partant que celle qu'il acquiert ensuite en retombant, lorsqu'il revient au point de départ (abstrac-

tion faite dans tous ces raisonnemens des frottemens et des résistances); nous pouvons donc conclure qu'un fluide s'échappe d'un orifice quelconque avec une vitesse égale à celle qu'un corps aurait acquise en tombant librement de la hauteur comprise entre l'orifice et le niveau de l'eau dans le réservoir (1).

Nous avons montré d'ailleurs dans la première partie de cet ouvrage, qu'un corps qui tombe dans le vide parcourrait pendant la première seconde de sa chute, et à la latitude de Paris, une longueur, un espace de 15 pieds ou 4.^{m}9, et que sa vitesse croissant à chaque instant, il se trouvait avoir parcouru, après la deuxième seconde, 60 pieds ou 19.^{m}6, etc., etc., sa vitesse acquise étant, dans le premier cas, 30 pieds ou 9.^{m}8, et dans le second, 60^{pi}.4 ou 19.^{m}6. Un réservoir percé d'un orifice situé à une profondeur de 4.^{m}9 au-dessus de son niveau, laisserait donc écouler en une seconde de temps, abstraction faite des résistances, une colonne d'eau qui aurait 9.^{m}8 de longueur, et pour base la section même de l'orifice; si cet orifice était situé à 60 pieds ou 19.^{m}6 au-dessus de ce niveau, comme la vitesse correspondante à cette hauteur est 19.^{m}6, l'écoulement pendant une seconde fournirait une colonne liquide qui aurait 19.^{m}6 de hauteur, et pour base la section de l'orifice, c'est-à-dire que la hauteur du niveau de l'eau dans le réservoir au-dessus de l'orifice, étant quadruple, la

(1) Soit H cette hauteur,

V la vitesse par seconde du fluide à sa sortie,

g l'action de la gravité $= 9.^{m}8088$,

on aura, d'après les principes de la chute des graves développés dans le premier volume :

$$V = \sqrt{2gH} \text{ ou } V = 4.^{m}43\sqrt{H}.$$

Voyez la table que j'ai insérée dans le texte, et qui a été calculée d'après cette formule.

(*Note du traducteur.*)

dépense serait seulement double; à une profondeur neuf fois plus grande, la dépense ne serait que triple, et ainsi de suite (1). — On est peut-être surpris que la quantité de liquide qui s'écoule sous une pression quatre fois plus grande, ne soit que double; que sous une pression neuf fois plus grande, elle ne soit que triple; mais si l'on réfléchit un moment, il sera facile de remarquer que l'eau en se soustrayant, on pourrait dire à cette pression, avec plus de vitesse, doit en être par cela moins affectée, et si sous une pression quadruple, il ne s'échappe qu'une double quantité d'eau, il n'y a point pour cela perte d'action, puisque chaque molécule s'échappe avec deux fois plus de vitesse; de même sous une pression neuf fois plus grande, il ne s'en écoule que le triple, mais la vitesse des molécules est trois fois plus grande, etc. — Un corps lancé de bas en haut avec une vitesse double, atteint une hauteur quadruple; si le jet qui part du réservoir s'élève verticalement avec une vitesse double, il remontera donc à la hauteur de son niveau, puisqu'il sera chassé par une pression quadruple. — La table suivante, calculée d'après ces lois, fera connaître, pour les cas les plus ordinaires, la hauteur qu'on doit donner au niveau de l'eau, ou la profondeur de l'orifice au-dessus de ce niveau; pour obtenir des vitesses d'écoulement depuis 1 décimètre jusqu'à 7 mètres par seconde.

---

(1) Soit S la section ou aire de l'orifice,

Q la quantité, ou volume d'eau, écoulée en une seconde, on a

$$Q = SV = 4.^{m}43\ S\sqrt{H} \text{ mètres cubes.}$$

Si S était un cercle dont d fût le diamètre, on aurait

$$Q = 3.48\ d^2\sqrt{H} \text{ mètres cubes.}$$

Q est ce qu'on appelle la dépense théorique.

(*Note du traducteur.*)

Vitesses par seconde et hauteurs de chutes correspondantes, exprimées en mètres.

Vitesse.	Hauteur.	Vitesse.	Hauteur.
mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
0.1	0.0005	3.7	0.698
0.2	0.0020	3.8	0.736
0.3	0.0046	3.9	0.775
0.4	0.0082	4.0	0.816
0.5	0.0127	4.1	0.857
0.6	0.0184	4.2	0.899
0.7	0.0250	4.3	0.943
0.8	0.0326	4.4	0.987
0.9	0.0413	4.5	1.032
1.0	0.0510	4.6	1.079
1.1	0.0617	4.7	1.126
1.2	0.0734	4.8	1.174
1.3	0.086	4.9	1.224
1.4	0.1	5.0	1.274
1.5	0.115	5.1	1.326
1.6	0.131	5.2	1.378
1.7	0.147	5.3	1.432
1.8	0.165	5.4	1.486
1.9	0.184	5.5	1.542
2.0	0.204	5.6	1.599
2.1	0.225	5.7	1.656
2.2	0.247	5.8	1.715
2.3	0.270	5.9	1.774
2.4	0.294	6.0	1.835
2.5	0.319	6.1	1.897
2.6	0.345	6.2	1.960
2.7	0.372	6.3	2.023
2.8	0.400	6.4	2.088
2.9	0.429	6.5	2.154
3.0	0.459	6.6	2.221
3.1	0.490	6.7	2.288
3.2	0.522	6.8	2.357
3.3	0.555	6.9	2.427
3.4	0.589	7.0	2.498
3.5	0.624	7.1	2.570
3.6	0.661	7.2	2.643

La connaissance de ces lois est, comme on le pense bien, de la plus haute importance dans les travaux qui ont pour but la distribution des eaux. Cependant il est bon d'avertir le lecteur que pour faire un usage judicieux de ces théories, il est utile de faire entrer dans le calcul les résistances dues au frottement contre les parois des tuyaux, celles dues aux étranglemens, etc. Ces résistances ont été déterminées par des expériences, la théorie n'ayant point suffi jusqu'ici pour les évaluer.

C'est un fait très-curieux, qu'il s'écoule une plus grande quantité d'eau à travers un petit ajutage, que lorsque l'écoulement se fait à travers un orifice simple percé dans la paroi du réservoir, les diamètres étant d'ailleurs égaux; mais l'écoulement est encore plus abondant lorsque l'ajutage a la forme d'un cône tronqué, dont la grande base est fixée au réservoir. — On a expliqué ce phénomène en disant que les molécules liquides en se précipitant à l'orifice, se croisaient les unes les autres, et gênaient ainsi leur mouvement, et cette explication paraît confirmée par la forme du jet; on remarque en effet que lorsqu'un liquide sort par un orifice percé dans une paroi mince, il se contracte à une petite distance en avant de la paroi formant ainsi un tronc de cône dont la grande base est l'orifice lui-même. — On a nommé cet effet *contraction de la veine fluide;* il est absolument nécessaire d'en tenir compte dans l'évaluation de la dépense du réservoir; car l'écoulement n'a plus lieu que comme s'il se faisait par la petite base du tronc de cône que présente la veine contractée. Si l'écoulement se fait, au contraire, par un ajutage cylindrique, par un tube, ce rétrécissement du jet ne peut avoir lieu sans laisser dans ce tube une partie vide dans laquelle la pression atmosphérique s'exerce avec plus d'avantage et favorise l'écoulement ou augmente la dépense; cepen-

dant si l'ajutage est conique, c'est-à-dire s'il a la forme de la veine, il favorise l'écoulement au point qu'il n'y a plus qu'une légère différence dans la valeur de la dépense réelle et de la valeur théorique; il semble que cet ajutage conique conduise graduellement le liquide à l'orifice de sortie, et prévienne ainsi en grande partie les obstacles que les molécules s'opposent les unes aux autres en s'entrecroisant (1).

La résistance que les fluides éprouvent dans les tuyaux de conduite est beaucoup plus grande qu'on ne le pense généralement; elle est due en grande partie à l'adhérence du fluide aux parois, et à celle des molécules fluides entre elles. Le retard qu'elles éprouvent ainsi, tout en diminuant graduellement de la circonférence au centre du tuyau, se communique de proche en proche aux couches adjacentes jusqu'au filet central : la masse fluide prend alors une vitesse moyenne moindre que celle qu'elle eût eue sans ce frottement et cette double adhérence, et la dépense se trouve considérablement

---

(1) On s'accorde généralement à corriger les formules théoriques ci-dessus, à l'aide des données suivantes.

Si l'orifice est percé en mince paroi, la dépense théorique donnée par la formule est à la dépense réelle, comme 100 est à 62, c'est-à-dire qu'il faut multiplier la valeur qu'elle fournit pour Q, par 0.62, pour avoir la dépense réelle.

Si l'écoulement se fait par un petit ajutage cylindrique, il faut alors prendre 0.82 pour multiplicateur de la valeur théorique Q.

Enfin, si l'ajutage est conique, le *coefficient de contraction de la veine* varie de 0.85 à 0.95, suivant le degré d'évasement.

Il n'y a point de contraction bien sensible, si l'ajutage a la forme de la veine contractée. — Cette forme est, à très-peu près, un tronc de cône, dont les deux bases sont comme 100 à 62, c'est-à-dire dont les diamètres sont comme 5 à 4, et dont la hauteur est un peu plus grande que la moitié du grand diamètre.

(*Note du traducteur.*)

diminuée. Un tube horizontal, d'un pouce de diamètre et de deux cents pieds de longueur, ne donne guère que le quart de la quantité d'eau qui s'écoulerait par un simple orifice, et le retard qu'éprouvent les gaz en se mouvant dans les tuyaux, est tel, que lorsqu'on proposa l'éclairage par l'hydrogène, quelques ingénieurs doutèrent de la possibilité de l'exécution. — L'ignorance de ce genre d'obstacle coûta cher à celui qui, il y a quelque temps, fit construire une machine soufflante à deux milles de distance d'un fourneau, afin de profiter d'une chute d'eau qui devait lui servir de moteur (1).

---

(1) Cet ouvrage n'étant point destiné aux ingénieurs, je renverrai, pour l'évaluation de ces résistances, aux ouvrages spéciaux, aux Traités de Dubuat, de Bossut, et au petit ouvrage de M. d'Aubuisson de Voisins, sur le mouvement de l'eau; cependant comme il peut être utile, dans quelques cas, d'évaluer la dépense réelle d'une conduite simple, je donnerai la formule suivante d'après ce dernier auteur.

On appelle *conduite simple*, un tuyau rectiligne ayant partout même diamètre et entièrement ouvert à son extrémité, communiquant avec un réservoir plein d'eau.

H est la hauteur de l'eau dans le réservoir au-dessus de la conduite,
D le diamètre de cette conduite,
L sa longueur,
Q la dépense réelle,
on a

$$Q = 20.75 \sqrt{\frac{HD^5}{L + 36\,D}} \text{ mètres cubes.}$$

Il est d'usage dans l'art du fontainier d'exprimer les dépenses non en mètres cubes, mais en *pouces d'eau*. On appelait ainsi la quantité d'eau qui s'écoule en une minute par un orifice circulaire d'*un pouce* de diamètre, le centre étant enfoncé de sept lignes au-dessous du niveau. Les hydraulistes ont beaucoup varié sur ce produit; on entend aujourd'hui par pouce d'eau l'écoulement qui produit 672 pouces par minute, = 13lit.33 par minute = 560 pieds cubes en vingt-quatre heures = 800 litres ou kilogrammes par heure := enfin 19m.c.2 en vingt-quatre heures.— La *ligne d'eau* est le 144e du pouce, ou 4.67 pouces cubes par minute = 55lit.5 par heure environ. — Au lieu de 19m.c.2, M. de Prony a pris pour unité 20 mètres cubes en vingt-quatre heures;

La température, en s'élevant, augmente d'une manière très remarquable la dépense d'un orifice ou d'un tuyau de conduite. On a trouvé, par exemple, que l'eau qui coule dans un tube de verre de 1^{mm} 767 de diamètre, et de 939 millim. de longueur sous une pression de 182 millim., coule quatre fois plus vite quand elle est voisine du point d'ébullition, que quand elle est voisine du point de congélation. Il semble que le calorique, en diminuant la cohésion des molécules, cohésion qui existe toujours à un certain degré dans tous les liquides, facilite leur écoulement.

La clepsydre, ou horloge d'eau des anciens, était fondée sur la théorie de l'écoulement de l'eau; et le sablier n'est qu'une modification du même principe (1).

---

c'est ce qu'il appelle le *double module d'eau*. En adoptant cette unité, on voit facilement que pour obtenir les dépenses, il faudra multiplier les résultats donnés ci-dessus par le nombre 4320; la formule de cette note devient alors:

$$Q = 89586 \sqrt{\frac{H D^5}{L + 36 D}} \text{ pouces d'eau.}$$

On peut employer comme une approximation suffisante, lorsque la conduite a une longueur mille fois plus grande que son diamètre, la relation

$$Q = 87749 \sqrt{\frac{H D^5}{L}} \text{ pouces d'eau.}$$

qui est plus simple que celle ci-dessus.

(*Note du traducteur.*)

(1) Il y a cette différence entre l'horloge d'eau et le sablier, que dans la première la vitesse d'écoulement diminue avec la hauteur du niveau au-dessus de l'orifice, tandis que pour le second, la vitesse de l'écoulement est uniforme; c'est ce qui semble résulter du moins des expériences faites à Genève par M. Huber-Burnand. Il a trouvé que la quantité de sable qui s'écoule dans un temps donné, par une ouverture donnée, est absolument la même, soit pour le volume, soit

« La clepsydre de Ctesibius est peut-être ce qui a été fait de plus ingénieux dans ce genre. — L'eau s'échappait comme des pleurs, des yeux d'une figure qui semblait payer ce tribut de regrets aux instans qui s'échappent. — Cette eau se rendait dans un réservoir vertical, où elle élevait une autre figure tenant une baguette au moyen de laquelle, et de son ascension graduelle, elle indiquait les heures sur une colonne. Le même fluide servait ensuite de moteur dans l'intérieur du piédestal, à un mécanisme qui faisait faire à la colonne une révolution autour de son axe, en un an; de telle sorte que le mois, le jour, se trouvaient toujours sous l'index, dont l'extrémité parcourait une verticale divisée convenablement. » (*Mécanique de Francœur.*)

La vitesse de l'eau dans un conduit ouvert, dans un canal, dans une rivière, est retardée de la même manière par les frottemens que le liquide éprouve contre les parois, et par sa viscosité. S'il n'en était pas ainsi, si ces deux causes de résistance, ajoutées à celle due aux coudes et aux sinuosités, ne modéraient la vitesse de l'eau, un fleuve comme le Rhône, par exemple, dont la source est peut-être de mille pieds au-dessus de son embouchure, lancerait ses eaux dans l'océan comme si elles sortaient d'un réservoir de mille pieds de profondeur, c'est-à-dire, avec une vitesse de 190 milles par heure environ. La vitesse moyenne des fleuves peut être évaluée à une lieue par heure environ, et la pente à trois ou quatre pouces par mille.

On détermine, au surplus, ces vitesses à l'aide de

---

pour le poids, quelle que soit la hauteur initiale du sable. Quoique les différences de hauteur aient été quelquefois décuples, les résultats ont toujours été parfaitement semblables.

(*Note du traducteur.*)

l'appareil suivant, qui est fort simple, et qu'on connaît sous le nom de *tube de Pitot* perfectionné. Ce n'est autre chose (*fig.* 40) qu'un tube vertical en fer-blanc, d'environ 2 pouces de diamètre, et de 5 à 6 pieds de long plus ou moins, tel que *A B*. A la partie inférieure est soudé un coude *A C*, terminé en cône *C*, et percé au sommet, d'un petit trou. Lorsqu'on plonge ce tube dans l'eau, en maintenant l'ouverture *C* dirigée vers le courant et la tige *A B* verticale, le liquide entre par le trou *C*, et monte dans le tube à un certain niveau *D*, supérieur à celui *E F* du niveau extérieur, parce que la pression de l'eau est accrue par sa vitesse. La force du courant maintient donc le liquide au-dessus de ce niveau, d'une quantité *D F*, qui est précisément égale à la hauteur due à cette vitesse, et qui une fois connue donnera cette vitesse, à l'aide de la table ci-dessus. Si, par exemple, la différence de niveau est un décimètre, on trouve pour la vitesse correspondante 14 décimètres par seconde; comme ce tube n'est point transparent, on y dispose une baguette graduée *b*, que le flotteur *a*, qui est en liége, soulève. — Cet instrument, convenablement modifié, pourrait sans doute servir à mesurer la force du vent. — Un moyen plus commode, mais moins exact, d'obtenir la vitesse d'un fleuve, est de faire flotter un corps quelconque à sa surface, une balle de cire, par exemple, puis à l'aide d'une bonne montre, de déterminer le temps que ce corps a mis à parcourir un certain espace; le rapport entre cet espace et le temps fera connaître la vitesse (1). — Celle du vent

(1) On conçoit fort bien, sans doute, que cette dernière méthode ne donne que la vitesse de l'eau à la surface du fleuve; il est plus souvent nécessaire de connaître la vitesse moyenne de ses eaux. M. de Prony a trouvé qu'en appelant *V* la vitesse à la surface, et *U* la vi-

pourrait se déterminer aussi d'une manière fort simple, car on pourrait, à la rigueur, se borner à mesurer la vitesse avec laquelle l'ombre d'un nuage se meut sur une plaine; ou, si l'on connaît les dimensions de cette plaine, il suffira d'observer la durée du passage.

Le frottement de l'eau sur l'eau même est tel, qu'un petit courant dirigé dans une mare, et assez rapide pour s'élever sur le bord opposé, ne tarde point à la vider; on a desséché de cette manière des marécages fort étendus. Le frottement entre l'eau et l'air n'est guère moins remarquable, ainsi que le prouve la plus grandiose des expériences naturelles; les vagues de l'Océan, qui en sont une conséquence. C'est encore sur le frottement de ces fluides qu'est fondée en principe cette récréation scientifique, dans laquelle on fait danser une petite figure sur le sommet d'un jet d'eau. — Nous avons dit en traitant du frottement (1er volume), que les substances grasses le diminuait, en général, très-sensiblement; or, cette remarque s'applique aussi bien aux fluides qu'aux solides. Un peu d'huile jetée à la surface

---

tesse moyenne, le mètre étant l'unité de mesure, on pouvait employer pour obtenir celle-ci, la relation

$$U = \frac{V\,(V + 2.37187)}{V + 3.15512}.$$

On peut encore obtenir la vitesse moyenne par la connaissance de la pente et de la section du fleuve, à l'aide de

$$U = 0.07 + \sqrt{(0.005 + 3233\ R \times I)}.$$

R est ce qu'on appelle le rayon moyen; c'est le quotient de l'aire de la section du fleuve, divisée par la partie de son périmètre qui est en contact avec la paroi renfermant le fluide; I est la pente par mètre. Il faut observer que l'emploi de cette formule suppose que la section du fleuve et la grandeur de la pente sont sensiblement les mêmes sur une assez grande longueur.

(*Note du traducteur.*)

de l'eau, s'y répand bientôt, en formant une couche mince qui la protège contre l'action et le frottement de l'air. Si l'huile est versée sur le bord d'un étang, du côté où le vent arrive, c'est-à-dire, où les petites vagues commenceraient à se former, la surface devient bientôt aussi parfaitement unie que la glace; mais à la mer même, où l'on ne peut atteindre à l'origine des vagues, l'huile répandue à leur surface tend à les niveler, et les empêche du moins de se recourber en avant, ou de se briser. — On assure que des bateaux qui avaient à gagner la côte à travers un ressac terrible, ont abordé sans danger, grâce à l'idée qu'eut l'équipage, de verser d'abord un tonneau d'huile au large. On connaît d'ailleurs les expériences de ce genre faites par l'illustre Franklin.

Les plus imposans travaux hydrauliques qui aient jamais été faits, sont, sans contredit, les aqueducs de l'ancienne Rome, que nous avons déjà eu l'occasion de citer; mais on peut aussi mettre aux premiers rangs les fontaines de quelques parties de la France et de l'Italie. Les immenses constructions faites à Versailles sont bien connues, et l'effet magique de ces eaux jaillissantes frappe d'admiration les voyageurs de toutes les parties du monde, qui visitent cette résidence royale. Ici c'est une colonne majestueuse qui jaillit du sein de la terre, là c'est une réunion de jets argentés, de gerbes brillantes, qui retombent en voûtes liquides; ailleurs ce sont des roues tournantes qui lancent dans l'espace des lames en forme de spirales; puis des sphères percées de mille ouvertures qui projettent de tous côtés des branches argentées, offrant ainsi l'image d'immenses bosquets liquides au milieu de cascades et de lacs tranquilles qui se dessinent sur un paysage enchanteur. — Cette scène est

peut-être ce qu'on peut concevoir de plus grandiose et de plus gracieux à la fois (1).

Des Vagues.

La figure, la grandeur et la vitesse des vagues ont été l'objet de profondes recherches mathématiques, et cette étude, si intéressante par elle-même, le devient encore plus par l'analogie frappante qui la lie à certains phénomènes que nous passerons en revue en traitant *du son* et *de la lumière*. (*Voy.* le 3e volume de ce Traité.)

Lorsqu'on laisse tomber un caillou dans une eau tranquille, on voit une petite vague circulaire se former autour du point de contact comme centre, puis s'agrandir, tandis qu'une seconde vague plus petite, mais concentrique à la première, lui succède; après celle-ci il s'en forme une troisième, puis une quatrième, etc. On remarque encore que ces vagues perdent de leur hauteur au-dessus du niveau général, à mesure qu'elles s'éloignent ou que leur diamètre devient plus grand; et de plus, que les dernières qui se forment sont de moins en moins élevées, de sorte qu'au bout d'un temps assez court, il n'y a plus, à l'endroit du contact de la pierre avec la surface, la plus légère agitation. Si au lieu d'un seul caillou on en projette une poignée, chaque point de contact devient un centre d'où émanent des séries de cercles qui, en s'agrandissant, se touchent bientôt les uns les autres, se croisent enfin, mais présentent cela de remarquable qu'ils ne se déforment point mutuellement et ne se troublent point dans leurs progrès ni leurs accroissemens respectifs. — Ce phénomène s'observe par-

(1) Cet effet magique a coûté au pays la bagatelle de *neuf cent millions* de notre monnaie!!

(*Note du traducteur.*)

faitement sur une petite échelle pendant les heures calmes de l'été, lorsque de petits insectes s'élancent à la surface des étangs. — Voici comment il s'explique : lorsque la pierre s'enfonce, le liquide qui est incompressible se déplace latéralement et s'élève autour d'elle; la pesanteur contraint bientôt les parties élevées à s'abaisser pour reprendre le niveau de la masse, et l'on voit alors le cercle s'étendre ; mais dans le même temps un vide se forme pendant un moment très-court là où la pierre s'est immergée, l'équilibre de la masse exige que ce vide soit rempli, et l'eau s'y précipite de tout côté, mais surtout de bas en haut. Cependant en vertu de sa vitesse acquise, elle ne s'arrête point au niveau général, elle le dépasse, elle s'élève au-dessus de lui, comme un pendule dépasse le point le plus bas de sa course, et cela d'une quantité ou d'une hauteur d'autant plus grande que la dépression primitive a été plus profonde. Cette élévation centrale agit alors elle-même à la manière de la pierre; il se forme une seconde vague circulaire, qui poursuit celle qui est déjà formée; bientôt ce centre, encore à la manière du pendule, s'abaisse d'une quantité proportionnée à son élévation, puis il se relève, puis retombe encore, et un mouvement alternatif de bas en haut et de haut en bas, s'établit en donnant naissance à une nouvelle vague à chaque oscillation. — Le frottement des molécules liquides entre elles diminue d'ailleurs à chaque période les élévations ou les dépressions, ce qui fait que les vagues diminuent sans cesse de volume à l'origine du mouvement, et finissent par disparaître entièrement.

Si la vague rencontre quelque ouverture, elle se répand à la surface liquide comme d'un nouveau centre, et si elle vient toucher un obstacle, une muraille, un roc perpendiculaire par exemple, elle se réfléchit com-

plètement, et semble partir d'un centre situé autant au-delà de l'obstacle que le centre réel est en-deçà.

La surface d'un liquide est si parfaitement nivelée, elle est si sensible, on pourrait dire, à toutes les causes perturbatrices; que leurs effets se transmettent à des distances fort considérables. — Un bateau à rames, qui traverse un lac tranquille, en ride la surface sur une grande étendue, et bien que les ondulations, en s'agrandissant de plus en plus, finissent par devenir imperceptibles à la vue, l'oreille les saisit et les reconnaît parfaitement au bruit causé par le petit mouvement que leur développement sur la rive fait éprouver au sable et aux cailloux qui s'y trouvent amassés. — Dans les mers sujettes à ces ouragans soudains et partiels bien connus des marins, le rugissement des brisans sur les côtes éloignées de la scène est un indice certain de la tempête qui fond au loin sur les navigateurs, et dont les habitans de ces côtes n'ont d'ailleurs rien à redouter. — L'auteur de cette Mécaniqne, durant une navigation dans l'Océan oriental, fut un jour frappé de la longueur extraordinaire des vagues qui roulaient sur la mer pendant un calme sombre, et auxquelles leur surface unie donnait l'apparence d'énormes masses de plomb fondu. Il apprit quelque temps après qu'à cet instant même quatre des plus beaux vaisseaux de la Compagnie des Indes, avaient péri dans un ouragan, à une centaine de milles au nord-est du lieu que le navire occupait. — Dans les mers polaires qui, abritées contre le vent par les îles de glace, sont comparativement très-calmes, on observe de temps en temps quelques phénomènes assez semblables : plusieurs vagues apparaissent subitement, puis tout rentre bientôt dans le repos. Cet effet est une suite de ces bouleversemens fréquens dont nous avons parlé plus haut; c'est un indice certain qu'une

fonte partielle en déplaçant le centre de gravité d'une des îles de glace flottante, en a causé le renversement.

La cause ordinaire des vagues n'est autre chose que le frottement exercé par le vent sur la surface de l'eau. Il se forme d'abord quelques rides, puis quand le vent a altéré le niveau de la surface, comme son action est continue, il la creuse de plus en plus, des *lames* s'élèvent alors et s'abaissent; elles gagnent de l'étendue, et si la mer est libre, c'est-à-dire si l'action du vent peut s'exercer sur un grand espace, les vagues acquièrent une extension considérable dans le sens longitudinal; ce qui leur donne l'apparence de montagnes mobiles. La baie de Biscaye, ou mieux encore la vaste mer qui s'étend entre les pointes méridionales de l'Afrique et de l'Amérique, offrent un exemple frappant de ce dernier cas, tandis que les mers équatoriales qui sont abritées par les continens et les îles, forment un contraste très-remarquable par leur tranquillité. Dans le vaste archipel de l'Inde, où surgissent du fond des eaux cette grande île de Bornéo, Java, Sumatra, les Moluques et les Philippines, la mer est presque toujours caressée par des brises locales; elle est pour ces îles comme un doux lit sur lequel elles reposent. Là, tout est calme et tranquille, et l'Européen qui, pour la première fois, parcourt ces régions, croit à chaque instant voir réalisés à ses yeux les rêves les plus brillans de son imagination pendant la jeunesse. Il est impossible d'oublier ces lieux enchanteurs, cette riche nature qui couvre la terre de ses produits les plus précieux, qui peuple les airs de myriades d'oiseaux dont le brillant plumage ressort avec tant d'éclat sur la végétation parfumée de ce paradis terrestre.

Lorsqu'on double le Cap de Bonne-Espérance, on rencontre des lames d'une telle étendue que quelques élévations et quelques dépressions occupent l'espace

d'un mille entier; mais ces énormes vagues sont bien moins dangereuses que ce qu'on connaît en terme de marine sous le nom de *lames courtes*. La pente, en effet, est si douce qu'on se sent à peine monter ou descendre, tandis que dans ce dernier cas la mer est *dure*, il y a du *clapotis*, et les tourmens du vaisseau le fatiguent singulièrement. — Lorsqu'un navire court vent arrière et s'élève sur la lame, il s'avance comme par bonds; car au moment où la vague passe, il descend d'abord le cap en avant et avec une telle vitesse, qu'il est presque impossible de le gouverner; bientôt, lorsque la lame a passé au-dessous de lui, il lui faut remonter sur un plan incliné liquide, de sorte qu'il est presque réduit au repos avant que d'autres vagues arrivent.

La vitesse des vagues augmente avec leur grandeur. Ces immenses lames dont nous parlions tout à l'heure, se meuvent à raison de trente ou quarante milles par heure. — C'est une croyance populaire et très-généralement répandue que l'eau elle-même procède avec la vitesse de la vague; mais ce n'est bien réellement que la *forme* qui marche en avant et non la *substance*, si l'on excepte toutefois la couche supérieure extrêmement légère que le vent pousse devant lui. La vague s'élève et s'abaisse constamment sur elle-même, et sans changer de lieu, et cela avec la régularité d'un pendule. Rien ne peut en donner une plus juste idée que le mouvement ondulatoire qu'on imprime à une corde horizontale attachée par une de ses extrémités à un point fixe, et dont on ébranle l'autre extrémité avec la main. La première ondulation se transmet bientôt à partir de la main jusqu'au point fixe, sans que, comme on le sent fort bien, il y ait eu aucun mouvement progressif des différentes parties de la corde. Les vagues de nos théâtres reproduisent parfaitement en petit ce qui se passe

à la mer ; on sait qu'elles sont formées de longues pièces d'étoffes qu'on soulève et qu'on abaisse alternativement. — Cependant lorsque la vague se meut sur un banc ou sur une plage, l'eau a très-réellement un mouvement de progression, parce qu'alors elle ne peut s'enfoncer, se déprimer sur elle-même, elle retombe en avant et s'affaisse suivant les lois qui régissent les fluides, pour se mettre de niveau.

C'est un spectacle si épouvantable que celui d'une tempête à la mer, que la terreur empreint souvent de son exagération les jugemens qu'on en porte. Quelque élevées que soient les vagues, l'imagination leur prête trop souvent des dimensions qui dépassent de beaucoup la réalité. La vérité est que la hauteur des lames dans une mer libre ne dépasse guère neuf à dix pieds au-dessus du niveau général ; mais comme la dépression est à peu près égale à l'élévation, il faut compter vingt pieds dans les cas extrêmes, entre le fond du sillon liquide et le sommet de la lame adjacente. C'est un fait dont chacun peut s'assurer, en s'élevant sur le mât, à la plus petite hauteur à laquelle l'horizon reste toujours en vue ; — bien entendu qu'il faut faire la part des inclinaisons accidentelles du navire et celle de son enfoncement au-dessous de la ligne d'eau au moment où il touche le fond de l'espace laissé entre deux vagues, et ne point compter ce que les marins appellent l'éclaboussure, c'est-à-dire cette partie de la vague que la violence des vents élève à son sommet, et qui dépasse naturellement de beaucoup ce sommet. Il n'y a d'ailleurs aucun rapport entre l'élévation des lames dans une mer libre et celles qu'elles acquièrent quand elles rencontrent des obstacles ou qu'elles se précipitent dans des passages resserrés, car alors la hauteur est celle qui résulte de l'effet d'un choc violent, elle est effroyable

Digitized by Google

pendant les tempêtes. Un point de la côte méridionale de l'Angleterre nous en offre un exemple frappant; le fanal d'*Eddystone* qui a près de quatre-vingts pieds d'élévation, est situé à trois lieues au large, sur un très-petit rocher isolé; lorsque les lames viennent se briser contre cet obstacle, il n'est point rare de voir l'eau dépasser la lanterne du sommet d'une centaine de pieds.

On peut prendre une idée assez juste de la grandeur des vagues, en examinant leur développement sur une côte étendue et basse. Au large, la vague en s'élevant présente une inclinaison de part et d'autre; mais à mesure qu'elle roule vers la rive, elle devient de plus en plus perpendiculaire en avant, jusqu'à ce qu'enfin, son sommet se recourbant dans le même sens, elle frappe la rive de toute sa masse. Lorsqu'elles se brisent ainsi sur une étendue de plusieurs milles, et au même instant, la percussion est si forte et le bruit si épouvantable que la contrée peut en être ébranlée.

Dans l'Inde, sur la côte de Coromandel, il y a constamment des brisans de cette sorte pendant certaines saisons, et comme les rades sont fort mauvaises, toute communication est interceptée entre la côte et le large pour les embarcations ordinaires. Cependant les indigènes de la côte, ceux de Madras par exemple, sont devenus pour ainsi dire amphibies; ils se hasardent jusqu'aux vaisseaux situés au-delà de ces brisans, à l'aide de ce qu'ils appellent des *catamarans;* ce sont des espèces de radeaux formés de 3 ou 4 pièces de bois liées ensemble, et sur lesquels ils se fixent. Ils s'avancent alors hardiment contre le rempart mobile qui semble les menacer, le pénètrent sans crainte, et se relèvent bientôt avec leur embarcation sur la surface unie qu'il offre du côté du large, à la manière des poules d'eau lorsqu'elles

plongent. Les bateaux qui ne sont point préparés pour ce genre de navigation, y périssent presque toujours. L'auteur a été témoin d'un accident de ce genre; il était descendu à terre sur la côte de Sumatra, avec une partie de l'équipage qui devait y prendre de l'eau; pendant leur court séjour à terre, une houle s'était élevée à la mer, et se brisait déjà avec fureur sur la plage et à l'embouchure de la rivière, lorsqu'ils y revinrent; le bateau qu'il montait regagna en sûreté le vaisseau qui était au large; mais une embarcation plus grande, qui suivait à une petite distance, fut engloutie, et l'on perdit un officier et une partie de l'équipage.

On observe, à l'embouchure de la plupart des grands fleuves, un phénomène connu sous le nom de *barre*, de *mascaret*, et qui présente quelque rapport avec la théorie qui nous occupe. — Lorsque la marée remonte de l'embouchure vers la source de la rivière, la mer rencontre les eaux du fleuve qui se meuvent en sens inverse de son mouvement, et la difficulté qu'elle éprouve à s'avancer dans l'intérieur des terres dépend des accidens du fleuve, de sa largeur, de sa vitesse, de sa profondeur plus ou moins grande; une partie de la masse des eaux de la mer se rebrousse alors presque perpendiculairement et roule sur le fleuve, en en balayant la surface avec une force irrésistible. — C'est cette espèce de mur liquide perpendiculaire qu'on appelle proprement la *barre;* et comme il dépend des marées, ce phénomène a généralement lieu deux fois par jour. — La barre est très-remarquable sur les différentes branches du Gange: les petites embarcations ne peuvent être amarrées là où il est possible que la barre remonte, et lorsqu'elle passe à Calcutta, les grands vaisseaux à l'ancre eux-mêmes en sont considérablement agités, et quelquefois arrachés de leurs amarres. — Les effets de cette barre sont encore

très-sensibles sur certaines côtes, où de vastes plaines de sable restent découvertes pendant la basse mer. Dans ces localités, dont il existe un grand nombre sur la côte occidentale de l'Angleterre, on voit la marée s'avancer comme un mur, et avec une telle rapidité que ce n'est point trop de toute la vitesse d'un cheval au galop pour sauver les curieux imprudens qui se sont hasardés trop loin. —Ces plages traîtresses deviennent chaque année le tombeau d'un grand nombre de victimes de la témérité et de l'ignorance.

On a récemment essayé de construire des embarcations *sous-marines*, c'est-à-dire destinées à s'enfoncer au-dessous de la couche des vagues, et qui dès-lors seraient complètement à l'abri des tempêtes: les expériences ont été extrêmement heureuses, et il y a lieu de croire que la cloche du plongeur, en nous familiarisant de plus en plus avec les diverses circonstances qui peuvent avoir quelque influence sur les résultats, permettra bientôt de construire des navires sous-marins tellement sûrs et tellement commodes, que les hommes qui redoutent le malaise causé par l'agitation de la surface, pourront, à leur choix, naviguer au-dessous.

De la résistance que les fluides opposent aux corps qui s'y meuvent, et de leur action mécanique lorsqu'ils sont eux-mêmes en mouvement. (Voyez l'analyse.)

Une même force est nécessaire pour imprimer le mouvement à une masse fluide ou à une masse solide égale à celle-ci; dans l'un et dans l'autre cas, une force égale est encore nécessaire pour l'anéantir, pour changer sa direction. — Si l'on renferme une livre d'eau dans une vessie, il ne faut ni plus ni moins de force pour lancer cette vessie à une hauteur donnée, que pour y lancer une livre de glace ou une livre de plomb, toutes choses

égales d'ailleurs. Si on place successivement ces diverses masses dans le plateau d'une balance, il faudra employer le même poids pour les équilibrer; et si, les attachant à un cordon, on le fait tourner à la manière des frondes, ce cordon sera, dans tous les cas, toujours tendu de la même manière.

Ceux qui, pour la première fois, étudient la théorie de la résistance des fluides, sont généralement portés à croire que lorsqu'un corps qui se meut dans un fluide avec une vitesse donnée, éprouve une certaine résistance, le même corps devrait éprouver une résistance double si sa vitesse était doublée; une résistance triple, si elle était triplée; en un mot, une résistance proportionnelle à la vitesse. Il n'en est point ainsi cependant, et un raisonnement assez simple le prouve, indépendamment de l'expérience.

Supposons qu'un bateau se meuve sur une rivière avec une vitesse d'un mille par heure; il déplacera nécessairement une certaine quantité d'eau, avec cette vitesse. — Supposons encore que sa vitesse augmente, qu'elle devienne double, par exemple, il doit paraître évident qu'il va déplacer dans le même temps que d'abord une quantité d'eau double de la première; dès-lors la force employée pour lui donner sa vitesse actuelle aura dû être doublée, seulement à cause de la plus grande masse à déplacer.—Mais ce n'est point tout; car cette masse, dans notre hypothèse, doit être déplacée avec une vitesse double; or, pour cela nous savons qu'il faudra encore une fois doubler la puissance motrice, c'est-à-dire en tout la doubler deux fois ou la quadrupler. — De même si l'on veut mouvoir le bateau avec une vitesse triple, il faudra déplacer dans le même temps trois fois autant de molécules, et les déplacer avec trois fois autant de vitesse, c'est-à-dire qu'on aura à vaincre

à chaque instant une quantité de mouvement trois fois trois ou *neuf* fois plus grande; pour une vitesse quadruple, on aurait une résistance seize fois plus grande, et ainsi de suite, comme le montre le tableau suivant:

Vitesses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Résistances correspondantes.	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100

Ainsi, en ne considérant même que la résistance opposée par le fluide au mouvement de la proue d'un bateau, on voit que cent chevaux ne pourraient lui communiquer qu'une vitesse décuple de celle avec laquelle un seul cheval le traînerait; c'est cette loi que les géomètres expriment en disant que les *résistances augmentent comme les quarrés des vitesses;* mais il est un autre élément important à faire entrer dans le calcul : c'est la diminution de la pression de l'eau à l'arrière du bateau, à mesure qu'il s'avance, et qui exige qu'on augmente encore considérablement les nombres de la deuxième ligne de la table, pour obtenir une vitesse donnée.

Il n'y a peut-être point en mécanique de vérité plus importante que celle que nous venons de faire connaître; elle explique un nombre incroyable de phénomènes naturels, et devient un guide indispensable dans la pratique des arts. Nous allons choisir indifféremment dans l'une et dans l'autre classe, des exemples propres à la mettre dans tout son jour.

Elle nous montre d'abord à quels énormes frais de combustible on obtient de hautes vitesses sur les bateaux à vapeur. — En effet, si une machine de 49 ou 50 chevaux peut mouvoir un bateau avec une vitesse de 7 milles à l'heure, on voit par la table précédente, que pour obtenir une vitesse de 10 milles il faudrait déjà deux machines de 50 chevaux ou une de 100; il en faudrait près

de trois pour obtenir 12 milles de vitesse — en supposant toujours que la résistance à la proue est la mesure de la force à vaincre, ce qui n'est point; et de plus que les machines travaillent avec le même avantage à une haute vitesse qu'à une petite, ce qui n'a point lieu non plus. — Les mêmes raisonnemens montrent encore que si toute la quantité de houille dont un navire puisse convenablement se charger pour le service de ses machines, peut le porter à une distance de 1000 milles avec une vitesse de 12 milles par heure, elle lui ferait parcourir bien plus que trois fois cette distance si l'on consent à ne marcher qu'à raison de 7 milles par heure au lieu de 12, et bien plus de six fois cette même distance ou plus de 6000 milles, si l'on réduit sa vitesse par heure à 5 milles. Ce sont là des considérations que ne peuvent négliger les hommes intéressés dans les entreprises de bâtimens à vapeur destinés à la grande navigation.

Cette même loi montre combien il est absurde de donner aux navires des voiles d'une dimension extraordinaire; car le très-faible avantage qu'on gagne par cette disposition, sous le rapport de la vitesse, est bien loin de compenser les dépenses additionnelles du gréement et de la manœuvre, sans parler des risques auxquels on s'exposerait dans les gros temps. —Les navires des prudens Chinois n'ont pour le même tonnage qu'un tiers des voiles des vaisseaux européens, et leur marche n'en est que fort peu ralentie. Ceci nous montre encore qu'un navire européen sous son mât de fortune, ne perd point autant de sa vitesse ordinaire qu'on le suppose généralement.

L'on doit comprendre encore comment une faible brise peut imprimer au vaisseau une vitesse de un à deux milles par heure, tandis que chassé par un vent fort il ne parcourt que huit ou dix milles dans le même

temps. En prenant pour unité de force celle du vent qui lui fait filer dix milles à l'heure, on trouvera facilement que le centième de cette force lui donnerait encore une vitesse de plus d'un mille, et que le quatre-centième suffirait pour lui donner plus d'un demi-mille de vitesse. — Ainsi, pendant un calme plat, la force de quelques hommes réunis dans un bateau et tirant bien ensemble un grand navire, le meuvent avec une vitesse sensible.

Ces remarques montrent combien il serait utile, dans les navigations de long cours, de se munir de une ou deux roues qu'on fixerait au moment du besoin sur les flancs du navire, comme les roues à palettes des bâtimens à vapeur. Ces roues seraient mises en mouvement par l'équipage, qui se soustrairait ainsi très facilement non-seulement à l'ennui, mais aux conséquences très-funestes qui résultent d'un calme prolongé. — Cette idée fut suggérée à l'auteur par un calme plat qui le retint durant plusieurs semaines sous la ligne, et pendant lequel il voyait souvent, avec une cruelle impatience, la brise rider la surface de l'Océan à un mille ou deux de la station. Nul doute que si le navire eût eu quelque moyen de franchir cette courte distance, il se fût épargné un délai aussi préjudiciable. — Il serait facile de mettre ces roues en communication avec le cabestan, que, dans de telles circonstances, les hommes de l'équipage tourneraient très-volontiers, afin d'échapper à une inactivité si pénible. Le calme qui retient un vaisseau chargé de troupes, coûte à l'état plusieurs milliers de francs par jour, et fait souvent avorter l'exécution de projets d'une grande importance. — Ce mécanisme si simple pourrait d'ailleurs servir à un autre usage: car les maladies, la fatigue et mille autres causes, mettent souvent un équipage dans l'impossibilité de faire face à

tous les besoins qu'exige le service du bord ; il me semble que dans de telles circonstances, ces deux roues fixées à un axe disposé horizontalement dans le sens de la largeur du navire, pourraient remplacer bien des bras ; mises en mouvement par la résistance que l'eau leur opposerait à mesure que le vaisseau chemine, elles fonctionneraient à peu près comme nos roues hydrauliques, et ce moteur pourrait être facilement appliqué à manœuvrer les pompes, à hisser les voiles, à faire, enfin, sa part de la manœuvre, comme une machine à vapeur dans nos établissemens industriels. Combien de superbes vaisseaux n'ont dû leur perte qu'à l'épuisement de l'équipage, qui n'avait plus la force d'agir sur les pompes? de quelle utilité n'eût pas été un système de roues hydrauliques, semblable à celui dont il s'agit ici? Quel service immense même n'eût pas rendu une simple roue à vent comme celles de nos moulins, placée quelque part dans le gréement du navire?

Nous venons de voir que la résistance qu'éprouve un corps à se mouvoir dans un liquide augmente bien plus rapidement que la vitesse de ce corps ; or, cette loi s'applique aussi bien aux fluides aériformes qu'aux liquides.

Les raisonnemens que nous avons présentés ci-dessus, doivent en effet paraître vrais, quelle que soit la densité du milieu, qu'il soit gazeux ou liquide. Ainsi donc, le projectile lancé par une arme à feu, éprouve de la part de l'air une résistance quatre fois plus grande pour une vitesse double que pour une vitesse simple. Nous ne parlons ici que de la résistance en avant du corps ; l'on conçoit que la résistance totale doit être plus grande, parce que la pression atmosphérique diminue en arrière de lui, et cela d'autant plus que la vitesse est plus

grande. — D'ailleurs, il est très-vrai que la résistance que les corps éprouvent en se mouvant dans l'air, croît avec plus de rapidité que dans les liquides, — ce qui est dû sans doute à la compressibilité du fluide élastique qui lui permet de se condenser en avant du mobile. — On sait qu'il est inutile d'imprimer à un boulet une vitesse supérieure à 1200 pieds par seconde, car la puissante résistance que l'air oppose à son mouvement, le réduit bientôt à cette vitesse initiale, et même à une vitesse inférieure.

Cette loi des résistances est encore vraie lorsque c'est le fluide qui se meut, et que le solide est en repos.

Lorsqu'un vaisseau est à l'ancre dans un courant où le flot passe avec une vitesse de quatre milles à l'heure, la force avec laquelle il tire sur son câble n'est pas même le quart de l'effort avec lequel il tend à le rompre quand la vitesse du courant est de huit milles.

Un vent qui parcourt trois milles à l'heure est à peine sensible; avec une vitesse de six milles à l'heure, c'est une brise agréable. — C'est un vent très-fort pour vingt à trente milles de vitesse; dans les tempêtes, il parcourt environ soixante milles à l'heure; mais lorsque sa vitesse dépasse quatre-vingts milles, c'est un ouragan effroyable qui déracine les arbres et brise tout ce qu'il rencontre.

Supposons que le vent se meuve à raison de cent milles à l'heure, il y aura cent fois autant de matière qui frappera le corps exposé à son action que si sa vitesse était d'un mille seulement; de plus, chaque molécule sera lancée contre l'obstacle avec une vitesse cent fois plus grande; la quantité de mouvement sera donc, dans cette hypothèse, cent fois cent ou dix mille fois aussi grande. Faut-il s'étonner dès-lors que ce fluide

invisible acquière, par le mouvement, une force suffisante pour découvrir les maisons, pour renverser des chênes qui, pendant un siècle, ont implanté dans les entrailles de la terre leurs racines vigoureuses, pour balayer enfin, comme les ouragans des Indes occidentales, tout ce qui s'élève un peu au-dessus de la surface terrestre.

Cette loi de la résistance des fluides assigne une limite aux vitesses que l'art ou la nature imprime aux corps qui se meuvent.

Elle assigne un terme, par exemple, à la vitesse des corps qui tombent dans l'air. — Nous avons vu que la gravité augmentait à chaque instant la vitesse des corps qui tombent; mais comme la résistance de l'air croît elle même encore plus rapidement que l'accélération, il est un point de leur course où ces deux forces opposées se font équilibre, et à partir duquel la chute devient uniforme.

Le mouvement du *parachute*, au moyen duquel les aéronautes descendent à terre, sans danger, d'une très-grande élévation, nous offre un exemple de ce genre.— On sait sans doute que cet appareil n'est autre chose qu'un vaste parapluie de vingt-cinq à trente pieds de diamètre, formé de fuseaux en taffetas, cousus ensemble; au centre est une cheminée de trois pieds de hauteur environ, qui permet à l'air de s'échapper rapidement sans nuire sensiblement à la résistance qui modère la vitesse : une nacelle est suspendue au parachute pour porter l'aréonaute. — La machine, à l'instant où celui-ci s'élance dans le vaste champ des airs, tombe d'un mouvement accéléré; mais après la première ou la deuxième seconde, la résistance acquiert la force de gravité, et la chute cesse de s'accélérer; elle se fait avec

une vitesse uniforme, qui est celle que le poids se trouve avoir acquise au moment où l'équilibre s'est établi. On a coutume de donner aux parachutes une largeur telle qu'ils ne puissent descendre d'un mouvement uniforme qu'avec une vitesse de onze pieds par seconde environ; c'est à peu près celle avec laquelle on arrive à terre en sautant d'une chaise élevée de deux pieds.

Il n'y a point de navire dont la vitesse dépasse celle de quinze milles à l'heure.

Il n'y a pas de poisson qui se meuve avec une vitesse plus grande que vingt milles à l'heure : — ni le dauphin lorsqu'il se porte en avant de nos plus vives frégates, ni le saumon lorsqu'il remonte au sommet des chutes d'eau.

Le vol des oiseaux a lui-même sa limite : le corbeau, qui retourne aux lieux qu'il habite en volant contre la tempête, ne peut faire face au vent dans un ciel ouvert; il rase alors la surface de la terre dans les vallées profondes, et cherche tous les passages où la vitesse de l'air est retardée par les obstacles. — Le grand albatros refoule, il est vrai, de son aile vigoureuse le courant rapide des plus fortes brises, il tient compagnie au vaisseau qui dérive sous l'ouragan qui le pousse avec une vitesse de cent milles à l'heure; mais peut-être offre-t-il la limite du possible en ce genre. L'oiseau palmipède, connu sous le nom de *pétrel des tempêtes*, habite la haute mer et principalement l'Atlantique; cependant la violence irrésistible des vents le balaye souvent de la surface, et le pousse sur les côtes occidentales de l'Europe. — Lorsque les vaisseaux, venant de la haute mer, s'approchent d'une côte d'où le vent souffle, ils deviennent un lieu de refuge pour les oiseaux de terre que le vent en éloigne s'ils n'ont pas la force de résister à sa vio-

lence ; —triste indice du destin qui les attend lorsqu'ils ne trouvent point où se poser.

La résistance dépend en grande partie de la forme du corps solide.

Tout le monde a pu remarquer qu'une surface plane éprouvait dans un fluide une résistance plus grande qu'une surface convexe, mais moins grande cependant qu'une surface concave. On explique ce fait en disant que la surface plane repousse les molécules du fluide presque directement du centre à la circonférence, — tandis que la surface convexe, en les déplaçant tout aussi loin, le fait toutefois avec d'autant moins de vitesse, et dès-lors avec une perte de force d'autant moindre que son extrémité antérieure se projette plus en avant du corps. Quant à la surface concave, on conçoit qu'il lui faut imprimer aux molécules liquides non-seulement un mouvement latéral, mais même un mouvement dans le sens où elle se meut; c'est la forme la moins propre à les diviser. — La forme postérieure du solide a elle-même une très-grande influence sur la résistance que le fluide oppose à son mouvement.

Les exemples suivans serviront à montrer l'influence de la convexité sur la diminution de résistance. — Les poissons ont la forme de coins arrondis, dans certaines parties, par des surfaces courbes, tant en avant qu'en arrière. — Les oiseaux se rapprochent assez de cette forme, et lorsqu'ils prennent leur vol, ils portent leur tête le plus en avant possible, afin de diviser l'air à la manière des flèches. — Les hommes ont imité la forme des poissons dans la construction de la partie inférieure des vaisseaux, et, sous ce rapport, on ne peut assez admirer ces légères embarcations qui rasent avec tant de rapidité la surface de la Tamise. Ces bateaux de plaisir

sont de véritables modèles de grâce et de formes heureuses. — On emploie aussi en Chine des barques très-remarquables, qu'on appelle *bateaux serpens;* elles n'ont guère que un à deux pieds de largeur, et leur longueur va souvent jusqu'à cent pieds; plus de soixante rameurs agissent en même instant, et avec une précision telle que leur vitesse est réellement extraordinaire. — Assigner la forme la plus convenable à la coque d'un navire, pour obtenir la plus grande vitesse possible, est un problème qui n'a pas encore été complètement résolu; aussi existe-t-il, à cet égard, une espèce d'empirisme souvent très-nuisible, et qui conduit quelquefois à des résultats fort singuliers. C'est une question cependant de la plus grande importance, et qui mérite toute l'attention des gouvernemens.

Les exemples suivans montreront l'influence de la forme dans les actions mutuelles d'un fluide ou d'un solide, lorsque ce dernier est plan ou concave. — Dans les roues hydrauliques — et nous appelons ainsi celles qui sont mues par l'action d'un courant, comme les roues des moulins à eau, aussi bien que celles qui agissent elles-mêmes sur le liquide, à la manière des roues de bateaux à vapeur, — les palettes disposées sur leur contour reçoivent ou donnent une impulsion très-puissante, dont on a tiré un très-grand parti dans une infinité de travaux. — On employait autrefois des roues horizontales, on y a renoncé parce qu'elles étaient d'un entretien difficile, et exigeaient un emplacement horizontal souvent considérable. — Les seules roues dont on fasse usage aujourd'hui sont verticales. — Ces roues ont des aubes, ailes, ou palettes, contre lesquelles l'eau agit par choc en dessous de la roue; on les appelle *roues en dessous.* — On s'accorde généralement à penser qu'il est convenable de leur donner le plus grand nombre

d'ailes possible, sans toutefois les surcharger. — Quand les roues à aubes ne sont pas exposées à un courant libre, leur partie inférieure est emboîtée dans un conduit rectangulaire qu'on appelle *coursier*. — Il y a encore des roues qui, au lieu de palettes ou ailes planes, portent sur leur contour des augets, qui se remplissent de liquide et agissent alors par leur poids pour faire tourner la roue; lorsque l'eau motrice arrive en dessus de la roue, on les appelle *roues en dessus;* d'autres fois le liquide arrive de côté, et un peu au-dessous du centre, on les appelle alors *roues de côté*. Pour obtenir le plus grand effet possible des roues mues par le choc de l'eau, il faut qu'elles tournent avec une vitesse à peu près égale au tiers de la vitesse du courant; quant aux roues mues par le poids de l'eau, leur circonférence pour obtenir l'effet *maximum* doit parcourir un mètre environ par seconde. Nous renvoyons, pour de plus amples détails sur les roues hydrauliques, aux Traités de Mécanique-pratique, dont elles forment une partie fort intéressante.

Les rames de nos bateaux sont aplaties à leur extrémité inférieure, et souvent même un peu concaves, afin que leur action soit la plus grande possible. — Les pattes des oiseaux aquatiques ont à peu près la même forme, et ce ne sont en effet que des rames flexibles qui se replòient pour éprouver moins de résistance lorsque l'animal les porte en avant, et qui se rouvrent lorsqu'il les lance en arrière pour accélérer son mouvement progressif. — Les ailes des oiseaux sont concaves aussi, afin qu'elles éprouvent, en frappant l'air, une plus forte résistance; — et l'on a soin, lorsque le vent est bon, de laisser les voiles des vaisseaux un peu lâches, afin que la surface exposée au vent se creuse ou présente de ce côté une concavité sensible.

La résistance qu'un solide éprouve de la part d'un fluide, est, à peu de chose près, proportionnelle à la surface de ce solide; — dès-lors, de deux corps do même forme, mais de grandeur différente, celui qui sera le plus grand éprouvera, de la part du fluide, une résistance moins grande, proportionnellement à son poids.

Soient donnés deux boulets, l'un de deux pouces de diamètre, l'autre d'un pouce seulement, la géométrie nous enseigne que le volume du premier sera égal à huit fois le volume du second, tandis que sa surface ne sera que quatre fois aussi grande. — La figure 41 fera concevoir cette vérité aux lecteurs peu familiarisés avec cette science. Elle représente huit dés, ou huit cubes, assemblés de manière à former le grand cube de la figure. Si nous comparons l'un de ces cubes à la figure formée par la réunion de tous, nous pouvons remarquer : 1° que l'arête du grand cube est seulement *double* de l'arête du petit; 2° que sa surface est cependant *quatre fois* aussi grande; car en prenant pour mesure une des faces du petit cube, nous trouvons quatre faces du petit cube dans chaque face du grand, et comme tout cube a six faces, le grand cube a vingt-quatre unités de mesure, et le petit six, ce qui revient à dire que leurs surfaces sont comme 4 à 1; 3° nous voyons enfin que l'espace occupé par le grand cube, ou son volume, est *huit fois* aussi considérable que celui occupé par le petit. — Ceci résulte d'ailleurs de notre première hypothèse : — De même *vingt-sept dés* ou cubes réunis convenablement formeraient un grand cube, dont l'arête serait égale à *trois fois* celle d'un des cubes élémentaires, dont la surface serait égale à *neuf fois* celle de ce dernier, et dont le volume serait *vingt-sept fois* aussi grand. — De même

enfin, deux cubes qui auraient pour arêtes, le premier un, le second quatre, auraient des surfaces dont le rapport serait indiqué par les nombres *un* et *seize*, et des volumes indiqués par les nombres *un* et *soixante-quatre*; en un mot, tous ces solides *semblables* ont entre eux cette espèce de relation que les géomètres expriment de la manière suivante : Les surfaces des solides semblables sont entre elles comme les quarrés de leurs lignes correspondantes ou homologues, et les volumes de ces solides sont entre eux comme les cubes de ces mêmes lignes. — Cela bien compris, il doit paraître évident que si deux boulets de même substance, l'un de huit livres et l'autre d'une livre, ont été lancés avec des vitesses égales, celui de huit livres ira cependant beaucoup plus loin que le second. En effet, leurs surfaces étant comme 4 à 1, et leurs masses comme 8 à 1, s'ils partent avec la même vitesse initiale comme nous le supposons, le premier aura huit fois autant de mouvement que le second.—Donc, afin que chacun parvienne au repos en même temps, le premier devra perdre à chaque moment huit fois autant de son mouvement que le second, et c'est ce qui ne peut avoir lieu, puisque cette perte de mouvement est sensiblement en raison des surfaces, et que ces surfaces sont dans le rapport de 4 à 1.

Cette loi importante nous explique pourquoi les bombes et les boulets de gros calibre franchissent des distances de quatre ou cinq milles, tandis que les boulets de petit calibre, les balles de fusil et de pistolet, le gros plomb, et la cendrée du chasseur, partis chacun de leurs pièces respectives, avec la même vitesse initiale, ont des portées d'autant plus courtes, que le diamètre des projectiles est plus petit. — L'eau elle-même est quelquefois employée comme projectile contre les

oiseaux; lancée par une forte seringue, elle les frappe avec assez de force pour les étourdir, et on les obtient alors sans avoir endommagé leurs plumes; mais cette arme du naturaliste ne peut servir que pour de petites portées, car le liquide se divise à une courte distance du canon, où elle perd sa vitesse et n'est plus capable d'aucun effet.

L'eau, en descendant d'une grande hauteur, se sépare de plus en plus, au point même qu'après une chute assez grande toutefois, elle devient pour ainsi dire toute surface. — La résistance qu'elle éprouve de la part de l'air est alors très-considérable, et le retard dans sa chute proportionné à cette résistance. C'est ce que montre la différence de vitesse avec laquelle descendent des hauteurs de l'atmosphère le brouillard léger, la brume, la neige, la pluie et la grêle enfin, qui sans cette résistance causeraient pour la plupart d'épouvantables désastres. — On peut prendre une idée des chocs terribles auxquels ces phénomènes donneraient lieu, à l'examen de ce joujou des cabinets de physique, connu sous le nom de *marteau d'eau*. — Ce n'est autre chose que de l'eau pure remplissant en partie un tube qu'on a complètement purgé d'air. Lorsqu'on renverse ce tube de manière que l'eau passe subitement d'une extrémité à l'autre, elle y arrive en une seule masse qui frappe alors la partie inférieure du tube, de manière à la faire retentir à peu près comme si un coup de marteau l'eût frappée.

Cette même loi enfin explique — le temps considérable qu'un fil de cocon ou un fil d'araignée exigent pour tomber jusqu'à terre d'une certaine hauteur; — pourquoi dans les villes populeuses, et principalement autour des grands établissemens industriels, il y a toujours une si énorme quantité de particules solides de toute espèce

Digitized by Google

en suspension dans l'air, un nombre infini de petites poussières que les rayons solaires rendent visibles, — et qui se déposant à l'intérieur des appartemens, sur tous les meubles, rendent constamment nécessaire de les essuyer et de les épousseter; — comment il arrive que les cendres fines lancées à de grandes hauteurs dans l'atmosphère, par les éruptions des volcans, sont quelquefois portées par les vents à des distances de trente et quarante lieues; — comment, dans les déserts de l'Afrique, la violence des vents change à chaque instant le relief du terrain, en transportant d'un lieu à un autre d'énormes masses de sable qui engloutissent les caravancs; — pourquoi, dans le fond des rivières ou dans les grands courans de l'Océan, on trouve la vase là où la vitesse est moins grande, le sable là où elle augmente, les cailloux et les pierres où il est dans toute sa force, tandis que dans les torrens et les cataractes, le roc seul résiste à la force du fluide. — Le roc, le caillou, le sable, la vase, peuvent être formés d'ailleurs d'une même matière, mais dans des états de division fort différens, qui expliquent leur disposition.

Cette loi explique encore le mécanisme de l'opération par laquelle on obtient des poudres d'une grande ténuité, et qu'on nomme *lévigation*. Une substance quelconque, mais insoluble dans l'eau, est d'abord concassée, puis réduite en une poudre plus ou moins grossière, qu'on verse dans le liquide. Les parties les plus lourdes tombent au fond du vase, et les plus légères, qui éprouvent plus de résistance de la part du fluide, en occupent la partie supérieure. On sépare cette partie du reste, et l'on fait sur elle la même opération que sur le tout, mais un peu plus lentement; et ainsi de suite jusqu'à ce que la poudre obtenue ait le degré de ténuité convenable à l'emploi qu'on veut en faire. La poudre

fine de cailloux siliceux, qu'on emploie dans la fabrication de la porcelaine, s'obtient par lévigation. — Il en est de même de la calamine et d'une infinité d'autres poudres employées dans la médecine ou dans l'industrie.

C'est à peu près par le même procédé, c'est-à-dire, en employant comme agent principal la résistance d'un fluide, qu'on parvient à séparer des substances de poids spécifiques très-différens, quelqu'intimement que ces substances soient mélangées entre elles. Si l'on avait, par exemple, et pour plus de clarté, un grand nombre de balles de liége mêlées à un nombre égal de balles de plomb, et qu'on les jetât d'une certaine hauteur dans l'atmosphère, la résistance de l'air retarderait beaucoup le mouvement du liége, et beaucoup moins celui du plomb, de sorte que celui-ci arriverait à terre avant l'autre; et l'on conçoit que le triage pourrait se faire presque d'un seul coup; (nous savons d'ailleurs que dans le vide les deux substances arriveraient au même instant, comme le prouve l'expérience si commune de la plume et de la pièce d'or, qu'on laisse tomber d'une même hauteur sous un récipient purgé d'air). De même, lorsqu'un mélange de grain et de paille, au moment où il sort d'une machine à battre, tombe d'une certaine hauteur à travers un crible, la paille éprouvant de la part de l'air une plus grande résistance que le grain, descend avec beaucoup moins de rapidité que celui-ci, et le vent l'en sépare en la portant au loin. — Le vanneur reproduit le même phénomène, et lorsqu'il a séparé du grain les parties étrangères auquel il est mêlé, il peut encore employer le même procédé pour partager ce grain lui-même en portions de qualités différentes. — Une opération tout à-fait analogue est celle par laquelle on sépare le sable et la vase de la poudre d'or à laquelle

ils sont mêlés. On étend le sable aurifère sur une surface plane, le long de laquelle on dirige un courant d'eau qui emporte les parties étrangères, et laisse sur la surface le métal précieux dont le poids spécifique est plus considérable. — Si l'on fixe une masse métallique à l'extrémité d'une tige de bois, et qu'on la laisse ensuite tomber dans l'air, ou qu'on la lance à la manière d'une flèche, cette masse précédera la tige, parce que son mouvement est moins retardé que le sien. — Enfin, c'est en vertu de la même loi que ce jouet connu sous le nom de *volant*, de quelque manière qu'on le lance dans l'air, présente toujours à la raquette le petit solide hémisphérique sur lequel on fixe les plumes.

Ces exemples, que nous aurions pu facilement multiplier, suffisent sans doute pour montrer de combien de phénomènes un seul principe scientifique donne l'explication (1).

Lorsqu'un fluide et un solide se rencontrent, l'impulsion réelle est toujours perpendiculaire à la surface du solide, sous quelque angle qu'ils se meuvent avant le choc; mais l'effet est d'autant plus petit que l'obliquité est plus grande.

Soit (*fig.* 42) *a b* une planche parfaitement plane et unie, vue de côté; sous quelque angle qu'un fluide

(1) On ne s'étonnera point sans doute que je n'aie pas donné des formules pour calculer la résistance des fluides; la théorie de cette résistance est encore à faire; on a bien entrevu quelques vérités générales, et ce sont celles que l'auteur anglais a exposées, mais en dépit des travaux de Newton, de Daniel Bernouilli, de d'Alembert, d'Euler, de Bossut, de Dubuat, etc.; elle est encore imparfaite à bien des égards. Les lecteurs géomètres devront recourir aux ouvrages de ces hommes célèbres.

(*Note du traducteur.*)

vienne la choquer, il doit paraître évident que l'effort de ce fluide ne peut agir que perpendiculairement, car la planche étant parfaitement unie, comme nous le supposons, le fluide ne peut la saisir en aucun point (qu'on nous passe cette expression), pour la pousser de *a* vers *b*, ou de *b* vers *a*. — D'ailleurs, l'effet de l'impulsion du courant sera d'autant plus petit, que l'obliquité sous laquelle il vient frapper ce plateau sera plus grande, et par deux raisons qui sont : que une moins grande quantité de fluide touchera ce plateau, et en outre que sa vitesse sera effectivement plus petite.

Ceci doit paraître évident à la seule inspection de la figure, car si *cd* représente l'épaisseur de la lame fluide lorsque le choc est direct ou perpendiculaire au plateau, cette épaisseur devient *fc* lorsque le choc est oblique, or *fc* diminue de plus en plus avec l'obliquité, et ne peut jamais être égale à *cd* pour peu que cette obliquité existe ; d'ailleurs, si *bd* représente l'espace parcouru par le courant perpendiculaire dans un temps quelconque, on voit que la ligne *cb* représentera l'espace parcouru par le courant oblique dans un temps égal, et comme *bc* est toujours plus grand que *bd*, le courant oblique parcourra toujours dans le même temps un plus grand espace que le courant direct; sa vitesse sera donc moins grande, il y aura donc toujours perte de force avec l'obliquité du choc. — Cette théorie a déjà été développée dans la Mécanique des Solides, le lecteur fera bien d'y recourir.

Ceci nous montre en même temps que le vent (*figure* 43) qui vient frapper la voile d'un vaisseau dans une direction oblique à sa surface, agit cependant perpendiculairement à cette surface, mais avec d'autant moins d'avantage que l'obliquité est plus grande. Si *ed*, par exemple, représente la force et la direction du vent,

dont l'action s'exerce sur la voile *ab;* cette force du fluide se décomposera, comme nous avons eu occasion de le voir dans la première partie, et l'effet sera absolument le même que si *df*, qui est bien plus petit que *ed*, représentait cette force et cette direction. Rien n'empêche même de supposer que cette force *df* du vent est remplacée par une force *cd* agissant dans le sens *dc*, comme ferait une corde, par exemple, au moyen de laquelle on tirerait la voile. Ceci bien compris, on doit concevoir facilement comment il est possible qu'un navire marche jusqu'à un certain point contre le vent; car ce que nous avons dit d'une voile *ab* peut se dire de toutes celles qui sont déployées de manière à recevoir l'impulsion de la même manière, et tout se passe alors comme si chacune d'elles était tirée dans des directions parallèles à *dc*, et rien ne serait plus facile que de déterminer la résultante de toutes ces forces.

Mais, demandera-t-on peut-être, comment est-il possible que la force plus ou moins grande qui tire suivant *dc*, c'est-à dire de côté et un peu en avant, porte le navire en avant : cela tient à sa forme qui lui permet de s'avancer peut-être vingt fois plus facilement dans le sens de sa quille que de côté, parce que ses flancs éprouvent une résistance énorme de la part du fluide, tandis que sa proue aiguë le divise très-facilement. Cette résistance est donc une force qui le pousse dans le sens de sa largeur, et qui, se composant avec la force du vent, lui fera parcourir, dans notre hypothèse, une distance de vingt milles en avant, c'est-à-dire suivant le prolongement de sa quille, tandis qu'il ne dévierait que d'un mille sur la gauche, si le vent vient de la droite, comme dans la figure. — Cette déviation, qui a toujours lieu pour peu que la direction du vent soit oblique à la direction du navire, se nomme la *dérive*. — On explique-

rait de la même manière les effets de la traction que les chevaux exercent au moyen d'une corde lorsqu'ils meuvent un bateau sur un canal ou sur une rivière.

Voyons maintenant comment on peut aller d'un point à un autre sur la mer, en naviguant contre la direction du vent. Soit (*fig.* 44) *a b* cette direction, le vent soufflant dès-lors dans le sens *ba;* on dispose le navire de manière à ce qu'il marche, comme on le dit, *au plus près du vent*, c'est-à-dire de manière que la proue s'approche le plus près possible de l'origine du vent. Les voiles étant placées dans la position de la figure 43, par exemple, le côté droit du navire, qu'on appelle *tribord*, se présente au vent, et il suit dès-lors une ligne plus ou moins oblique à la direction du vent *b a*, et que nous représenterons par *a c;* arrivé en *c*, il vire de bord, c'est-à-dire qu'il présente son flanc gauche ou *bâbord* à l'action du fluide, et suit alors la ligne oblique *c d;* arrivé en *d*, il change de bord une seconde fois et parvient en *e*, d'où il passe enfin en *b*, après avoir couru les différentes bordées indiquées par la figure.

Lorsqu'un navire marche avec un vent contraire, les voiles doivent être disposées suivant des plans tellement rapprochés de sa direction, que, à moins qu'elles ne soient presque planes, une grande partie de leur surface devient inutile. La méthode de gréement des Chinois est, sous ce rapport au moins, préférable à la nôtre, car ils ont le soin de fixer en travers des voiles un certain nombre de tiges de bambou qui les rendent aussi plates que des planches. Ceci explique la singulière apparence que présentent leurs navires lorsqu'ils marchent avec un vent contraire; car les voiles se présentant de profil, on ne voit alors que les mâts qui les supportent.

On s'étonne généralement qu'un vaisseau marche avec plus de vitesse par un vent de côté, que par un vent

arrière direct : c'est que, dans le premier cas, toutes les voiles exercent leur action, tandis que dans le second les voiles de l'avant sont abritées par celles de l'arrière, qui leur *mangent le vent*. Il est très-vrai que par un vent de côté, chaque voile prise isolément, exerce une action bien moins puissante que si elle était chassée vent arrière; mais prises ensemble, l'effet total est toujours plus grand dans le premier cas que dans le second. — Avec un vent de côté, le navire peut même marcher avec plus de vitesse que le vent lui-même; il en est de même des extrémités des ailes des moulins à vent.

La loi qui nous occupe explique encore l'action du *gouvernail* des navires, de cette pièce si importante, à l'aide de laquelle un seul homme amène et maintient dans telle ou telle direction une aussi énorme machine, et qui lui permet de la conduire au milieu de rochers et de hauts fonds, comme le charretier le plus adroit dirige sa voiture. — Le gouvernail a pour effet d'imprimer au vaisseau des mouvemens de rotation autour de son axe vertical. Ce n'est autre chose qu'une pièce de bois convenablement ferrée, qui se prolonge à l'arrière du vaisseau (*fig.* 45) et se fixe à l'étambot au moyen de gonds sur lesquels elle tourne comme une porte sur les siens. On lui donne ordinairement autant de pouces de largeur au-dessous de la flottaison, que le vaisseau a de pieds dans sa plus grande largeur, et les trois quarts seulement de cette dimension par en haut; on fait entrer d'ailleurs dans la tête du gouvernail une forte barre de bois ou de fer, qui sert de levier pour le faire tourner, et qui prend le nom de *barre* ou de *timon*. Cette barre est établie au-dessus du pont inférieur des vaisseaux, du faux-pont des frégates, et du pont unique des bâtimens qui n'en ont qu'un seul; l'extrémité du timon est alors placée un peu en arrière de la bous-

sole, où se tient le *timonier*, c'est-à-dire le marin qui dirige le vaisseau. Dans les grands vaisseaux on fait mouvoir la barre non à la main, comme dans les petits, mais à l'aide d'un treuil, où la puissance, c'est-à-dire la main du timonier, est appliquée aux extrémités des rayons d'une roue qu'on nomme *roue du gouvernail.*

Cela bien compris, il est facilo de concevoir l'action de cette pièce importante. Lorsque le gouvernail (*figure* 45) est disposé dans la direction de la quille et de l'étambot, comme en *a*, il n'influe en rien sur la marche du vaisseau; mais pour peu qu'il s'incline à cette direction, qu'il prenne la position *b*, par exemple, vers la gauche ou *bâbord*, il se trouve alors choqué par une portion do l'eau que la proue a divisée et qui coule le long de la carène; cette eau agit suivant la perpendiculaire *c b*, comme nous le savons, et poussant l'arrière du vaisseau vers la droite ou tribord, la proue tourne vers la gauche ou *bâbord*; d'où l'on voit qu'en général pour faire tourner l'avant d'un vaisseau vers la droite ou tribord, il faut porter la barre à gauche; et la porter à droite, au contraire, pour faire tourner l'avant vers la gauche ou bâbord.

Il ne serait point impossible de confier la direction d'un bateau au bateau lui-même, comme il est facile de s'en convaincre : il suffirait d'établir sur la tête du mât une puissante girouette, par exemple, portant deux bras perpendiculaires à son axe de rotation, dont on mettrait les extrémités en communication avec les cordes de la barre. Si l'on voulait que le bateau marchât contre le vent, il faudrait faire en sorte do fixer les cordes aux bras de la girouette, lorsque celle-ci est directement tournée en avant, le gouvernail occupant alors sa position moyenne, c'est-à-dire se trouvant dans le prolongement de la quille. On voit en effet que si le navire, par une cause

quelconque, déviait de sa direction primitive, la girouette, en changeant de position relativement à lui, altérerait d'une quantité correspondante l'angle du gouvernail avec la quille, de manière à la ramener dans la position voulue. On voit qu'en combinant la communication entre la girouette et le gouvernail, on pourrait maintenir le navire dans telle ou telle position désirée. Nous ne nous arrêterons pas sur ce projet, susceptible cependant de quelques applications utiles pendant la guerre; remarquons toutefois que des naufragés abandonnés pourraient employer ce moyen pour donner avis de leur position sur une côte éloignée. — Un petit appareil de ce genre, fixé à un bloc de bois, une girouette formée d'un cerceau sur lequel on tendrait une toile, seraient très-convenables à ce but.

L'action mécanique des fluides s'exerçant suivant une direction perpendiculaire, la masse liquide située à la droite de la proue d'un navire, tend toujours à le faire dévier vers la gauche; mais celle du côté gauche exerçant de l'autre part une pression égale et contraire, l'équilibre s'établit et le vaisseau marche en avant. Cependant lorsque le navire s'incline, ou, comme on le dit, prend de la bande, la partie de la proue qui s'enfonce plus que l'autre, éprouve une pression plus grande, d'où s'ensuivrait une déviation sans l'action du gouvernail auquel il faut alors donner une position qui rectifie cette déviation; c'est ce qu'on appelle tenir *la barre au vent*. Il est si rare qu'un vaisseau marche avec le vent en poupe, que pour se soustraire en partie à cette nécessité constante où l'on se trouve de tenir la barre au vent, on a rapproché les mâts, et par conséquent la masse des voiles, de la proue.

Comme la proue d'un navire se présente en tous ses points, à cause de la courbure de sa surface, d'une ma-

nière oblique à l'action du fluide, l'eau, lorsqu'elle s'avance, tend continuellement à la soulever; c'est ce qui fait qu'une chaloupe attachée à l'arrière d'un vaisseau, au moyen d'une corde horizontale très-peu élevée, relève sa proue à mesure que le vaisseau l'entraîne. — Il en est de même des bateaux à vapeur, qui, comme on le sait, enfoncent toujours leur poupe dans le sillon creusé par la proue. Il n'en est point de même dans les navires à voile, car le centre de voilure étant toujours plus ou moins élevé, le vent, c'est-à-dire le moteur, agit sur un long bras de levier qui déprime la proue ou plutôt anéantit l'effort que fait le liquide pour la soulever; la quille conserve donc mieux sa position horizontale.

La forme de l'avant du vaisseau a moins d'influence sur sa vitesse que celle de la partie qui s'étend depuis son milieu jusqu'à l'étambot. Si le navire est en repos, il est bien vrai que la pression est la même à l'arrière qu'à l'avant; mais lorsqu'il marche, il se soustrait, pour ainsi dire, à la pression en arrière qui le pousserait, et augmente au contraire sa résistance en avant. Une diminution bien graduelle de largeur à l'arrière, ou comme le disent les marins, de *bonnes façons* permettent aux eaux qui ont coulé le long de la carène de se réunir au plus vite à l'arrière, et d'exercer alors une pression qui accélère la vitesse. — Tout le monde sait qu'un mât s'avance plus facilement sur l'eau lorsque la grande base est en avant que lorsque la pointe marche la première.

Le *moulin à vent* nous fournit un autre exemple de l'action mécanique des fluides sur des surfaces obliques à leur direction. — Le moulin est directement tourné contre le vent (*fig.* 46), mais les quatre grandes ailes *a b c d*, sur lesquelles le fluide exerce son action,

sont individuellement inclinées à sa direction. Ainsi, le bord *a* de l'aile *a e* est plus près du vent ou plus rapproché du spectateur qui regarde de face l'ensemble des ailes, que le bord *e*. — Il en est de même des autres ailes *b d c* de la figure dans laquelle nous avons indiqué, par un double trait, les bords qui se trouvent sur le premier plan, et par un trait simple les bords qui sont situés en arrière. On doit comprendre facilement, pour peu qu'on ait lu avec attention notre premier volume, comment le vent, en arrivant perpendiculairement à la surface générale du moulin, imprime cependant au plan des ailes un mouvement de rotation; il y a alors une décomposition de la force en deux parties, l'une qui pousse les ailes en arrière contre le corps de la machine, et qui ne produit aucun effet utile, l'autre qui les fait tourner de gauche à droite. Les lois connues de la décomposition des forces (*Voyez* tome premier), déterminent la grandeur de chacun de ces effets, lorsqu'on connaît la force totale.

Les moulins à vent s'introduisirent en Europe dans le quatorzième siècle. Ils sont encore aujourd'hui d'une haute importance dans les pays où les chutes d'eau sont rares, et où la dépense en combustible ne permet point d'employer la vapeur. Dans quelques-unes des plus riches parties de l'Europe, les hauteurs sont couronnées de moulins à vent occupés à moudre le grain, à scier le bois, à exprimer les huiles; et dans les plaines, à pomper de l'eau pour les usages domestiques, ou dessécher continuellement les parties marécageuses.

Sur le même principe que les moulins, on a construit ces petits ventilateurs qu'on place au milieu d'un carreau, et qui renouvellent l'air des appartemens. Ils se composent d'un cercle fixe, au milieu duquel tourne une roue dont les rais, également inclinés et plats, peu-

vent être comparés aux ailes d'un moulin. — Lorsque l'air frappe ces ailettes, sa force se décompose et fait tourner le ventilateur avec d'autant plus de vitesse que cette force est plus considérable. Cette rotation ne peut d'ailleurs s'exécuter sans que l'air passe entre les ailettes et s'insinue dans les appartemens.

En disposant horizontalement un système semblable dans une cheminée, l'air chaud, en s'élevant, lui imprime de même un mouvement de rotation dont on a tiré parti pour faire tourner une broche.

Les plumes qu'on attache à la tête des flèches agissent aussi à la manière des ailes de moulins. — On sait que ces pennons sont disposés obliquement à l'axe de la flèche; ils se contournent autour d'elle, à peu près comme le filet d'une vis autour du cylindre intérieur. Il résulte de cette disposition que l'air, en les frappant, leur imprime un mouvement de rotation qui se communique au bois même de la flèche, et assure ainsi la bonne direction de celle-ci.

On pourrait peut-être croire qu'une roue mue par l'action directe du vent, comme les roues hydrauliques le sont par le choc de l'eau, serait bien préférable aux roues de moulins que nous venons de décrire, et sur lesquelles ce moteur agit obliquement. Cet essai a été fait; on a disposé sous un hangar une roue portant, à sa circonférence, des palettes bien plus grandes que celles des roues hydrauliques, et qu'on exposait par parties à l'action du vent; — l'expérience n'a point été heureuse : c'est une faible machine. — La roue à ailes obliques ne met peut-être à profit que la moitié de la force du vent qui la frappe, mais sa grande surface lui permet de tirer parti d'un courant de trente pieds de diamètre, tandis qu'une fenêtre ordinaire suffirait pour

alimenter d'air une roue à palettes de la même dimension.

Il pourrait être avantageux, dans certaines localités, d'employer des roues hydrauliques de même forme que les roues de moulins à vent. — Ce système paraît convenable dans les lieux où le courant d'eau est profond et n'a que peu de vitesse.

On a employé, au lieu du *loch*, une petite roue de ce genre avec de larges ailettes obliques, pour déterminer la vitesse d'un vaisseau qui fait voile. — L'instrument est placé dans l'eau, à l'arrière du navire, qui le tire après lui; le nombre de révolutions que le choc de l'eau fait faire à la petite roue dans un temps donné, marque la vitesse du navire.

Si pendant un calme parfait on faisait tourner les ailes d'un moulin à vent à l'aide d'une force appliquée à leur axe commun, il doit paraître évident, après ce que nous avons déjà dit; que la rotation des ailes imprimerait à l'axe un mouvement d'avant en arrière, tout comme si le vent soufflait sur l'ensemble. — La résistance que l'air opposerait au mouvement des ailes, est une force qui se décomposerait sur leur surface oblique, en deux autres, dont l'une produirait l'effet ci-dessus. — On a employé ce système, non dans l'air, mais dans l'eau. — Une roue de ce genre, qu'on a appelée *vis à eau*, a été placée à l'arrière des bateaux à vapeur, afin de les mouvoir dans les canaux dont la largeur ne permettait point l'emploi des roues de côté; mais à cause de l'obliquité des surfaces, une partie seulement de la puissance est utilement employée; — le reste étant dépensé en pure perte quant à l'effet désiré, pour produire le mouvement latéral; de sorte que ce système n'est point applicable en général.

Deux petites roues de moulins à vent, assemblées

horizontalement l'une au-dessus de l'autre, sur un même axe, et tournant dans des sens opposés, s'élèveraient dans l'air, et pourraient même soulever un certain poids; ce serait une petite machine volante.

La théorie du *cerf-volant* est exactement liée avec celle qui nous occupe. Soit (*fig.* 47) *d* la corde qui le retient, et qui est fixée un peu au-dessus du milieu de sa *bande*, afin qu'il conserve une position oblique; — si le vent vient le frapper horizontalement, il est clair que la composante *a c*, perpendiculaire à la surface du cerf-volant, sera la seule utilement employée; cette force agissant d'ailleurs de *c* vers *a*, l'effet est le même que si la machine était tirée et soulevée en arrière par une corde *a b*. *A b* est donc la direction que suivra la machine, tant qu'on lâchera de la ficelle. — Cesse-t-on au contraire d'en filer, le cerf-volant se trouve alors soumis à deux forces *a b*, *a d*, dont la résultante peut être représentée par *a e*, c'est-à-dire que *a e* est alors sa nouvelle direction. — Il ne serait pas impossible de construire un cerf-volant assez grand pour soulever un homme. — On a lancé des chats dans l'espace, en les attachant à la queue de cerfs-volans, et ces animaux sont revenus à terre sans aucun accident, à l'aide de parachutes convenablement disposés. — Peut-être y aurait-il plus de sécurité à s'élever ainsi à la queue d'un cerf-volant, que dans un ballon, dans le cas où il s'agirait de reconnaître la position d'un ennemi, comme le firent les Français pendant les guerres de la révolution. — Un parachute serait une garantie suffisante contre tout danger, et l'aéronaute pourrait facilement régler l'obliquité de la corde et du cerf-volant, en agissant d'une manière quelconque sur leur point d'attache; il réglerait ainsi à volonté l'ascension et la descente. On a vu sur les routes d'Angleterre, en octobre 1827, une

voiture traînée par des cerfs-volans. Afin qu'ils pussent atteindre à une plus grande élévation, où l'on sait que le vent est généralement plus fort, ils étaient attachés les uns aux autres, et comme enfilés sur une même corde : ainsi, le deuxième cerf-volant était tiré comme s'il était tenu par une main située dans le premier; le troisième était de même conduit par le second, le quatrième par le troisième, et ainsi de suite. L'auteur de ce mécanisme l'avait indiqué comme d'un emploi commode pour traverser les plaines d'une grande étendue, les déserts de sables, les vastes terrains couverts de neiges, etc., et cela avec une vitesse peu différente de celle du vent.

L'effet produit par le mouvement d'un seul aviron à l'arrière d'un bateau, s'explique encore par la même loi. L'aviron a son point d'appui vers la poupe du bateau, et les vibrations qu'on lui fait faire à droite et à gauche suffisent pour porter l'embarcation en avant; c'est ce qu'on appelle *gabarrer;* dans toutes ses positions, l'aviron doit avoir la partie de sa surface qui presse l'eau, inclinée obliquement en arrière; il se fait alors une décomposition de force, semblable à celle dont nous avons déjà vu tant d'exemples, et le bateau marche en avant par l'action d'une des composantes. — En Chine, on manœuvre souvent de cette manière de très-grands bateaux, et il n'est point rare de voir la moitié de l'équipage agir à la fois sur l'aviron. — On voit que lorsqu'on *gabarre*, l'aviron peut être considéré comme une des ailes de la roue dont nous avons parlé plus haut.

Le poisson agite sa queue, l'anguille et le serpent se contournent dans l'eau, pour se pousser en avant, à peu près de la même manière. — On regarde généralement la queue du poisson, comme le gouvernail à l'aide

duquel il dirige ses mouvemens; mais cette partie est surtout destinée à imprimer le mouvement à la masse du corps, et ce sont les nageoires qui le règlent et le dirigent.

Quelques Machines hydrauliques. (*Voy.* l'analyse.)

L'eau, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, est à l'univers à peu près ce que le sang est au corps des animaux, aussi voyons-nous que la seule action des causes naturelles entretient constamment une circulation indispensable. Cependant, la nature en se chargeant de la distribution des eaux, pour ce qui la concerne, n'a point pourvu à tous les besoins ou à tous les caprices de la société humaine, et il a fallu dès-lors que celle-ci eût recours à son génie, pour suppléer à ce qui n'avait point été fait pour elle; de là naquirent les machines à élever l'eau. Ces machines sont extrêmement nombreuses, nous nous bornerons à faire connaître les plus intéressantes, et nous choisirons même de préférence celles dont la disposition sera la plus propre à faire comprendre le mécanisme des autres machines que nous ne pouvons décrire.

Un des moyens les plus simples qui se présentait pour élever l'eau du sein de la terre au-dessus de sa surface, consiste à attacher un vase de forme convenable au bout d'une corde, à le plonger dans le liquide, et à tirer ensuite le vase à soi lorsqu'il est plein; — mais ce moyen ne serait pas commode si l'on avait une certaine masse d'eau à élever; aussi dut-il être bientôt remplacé. On imagina, sans doute, de suspendre deux seaux à une corde sans fin, c'est-à-dire circulaire, et de mouvoir ce système au moyen d'un axe horizontal et d'une manivelle; mais cette idée dût conduire bientôt à employer quatre, six, huit, trente vases régulièrement

espacés sur cette chaîne sans fin, au lieu de deux seulement; de les faire monter et descendre par la révolution d'un tambour, de les vider au point le plus élevé de leur révolution, tandis que d'autres situés au point le plus bas de la chaîne, se rempliraient dans le même instant, et la *noria* fut inventée. — Mais un moyen non moins simple se présentait peut-être : on pouvait, par exemple, faire plonger dans l'eau un large tube ouvert par les deux bouts, et précisément de la hauteur à laquelle il fallait élever le liquide; placer au-dessus de ce tuyau un treuil ou tambour, embrassé par une corde sans fin; enfiler et assujétir d'espace en espace, sur cette corde, une suite de petits disques d'une certaine épaisseur, ayant tous le même diamètre que le tuyau; et l'on obtint cette combinaison mécanique connue sous le nom de *moulin à chapelet*. On doit comprendre parfaitement, sans doute, que la corde est disposée de manière qu'elle passe, avec le disque dont elle est chargée, par le tuyau vertical, et comme celui-ci est rempli d'eau à la hauteur du niveau extérieur, la suite des disques qui viennent enfiler le tuyau soulève l'eau et l'amène sans interruption à la hauteur désirée. — On pourrait encore, ainsi que l'a fait Véra, élever l'eau en mettant à profit son adhérence à un corps qu'on ferait vivement passer dans son sein : une ou plusieurs cordes, par exemple. Cependant cette machine, dont il ne serait pas impossible qu'on pût tirer parti dans quelques circonstances, ne présente point, en général, d'avantages qui puissent la faire préférer; elle est même sujette à d'assez grands inconvéniens. — Mais de toutes les machines qui servent à élever l'eau, les plus importantes sont, sans contredit, les pompes aspirantes et foulantes que nous avons déjà décrites; aussi les rencontre-t-on partout : elles élèvent l'eau des puits, dessèchent les mines, soulèvent

l'eau du sein de la terre et la distribuent dans les grandes villes, font partie de l'équipage des navires qu'elles soustraient souvent aux plus grands dangers; servent enfin contre les incendies, etc., etc.

Un cours d'eau qui traverse un jardin ou une prairie, peut sans doute ajouter à la beauté du site; mais il est à peu près inutile s'il n'est employé aux irrigations qu'exige la végétation environnante. — Dans les campagnes et les jardins de la Perse, où la chaleur du soleil est très-intense, les ruisseaux élèvent une partie de leurs eaux par la seule action de leur cours, et la versent dans des réservoirs plus ou moins élevés, d'où, à travers des conduits en pente, elle va se répandre dans tous les lieux où son action bienfaisante est nécessaire. Une grande roue (*fig.* 48) plonge en partie dans le courant, et reçoit de lui son mouvement; elle porte à sa circonférence des seaux mobiles qui se remplissent successivement et se vident lorsqu'ils ont atteint le point le plus élevé de leur course. — Au lieu d'employer des seaux, on se contente souvent de creuser les rais courbes de la roue; leurs extrémités, en plongeant dans l'eau, en ramasse une certaine portion qui descend le long des rais à mesure que ceux-ci s'élèvent et se décharge dans un réservoir au centre. — Ces roues ont reçu le nom de *roues persiques;* on les emploie cependant ailleurs qu'en Perse; il y en a, par exemple, un très-grand nombre sur les rives du Nil.

On pourrait encore élever l'eau au moyen de l'appareil de la figure 49. — Un tube ouvert par ses deux extrémités, tourne autour d'un cylindre incliné, comme le filet d'une vis; une manivelle coudée, appliquée à la partie supérieure de l'axe de ce cylindre, sert à lui imprimer un mouvement de rotation; pendant ce mouvement l'eau entre par l'extrémité inférieure; mais comme

cette extrémité se relève par la rotation, l'eau descend dans l'arc inférieur de la spirale; cet arc inférieur venant lui-même à s'élever, l'eau descend dans un nouvel arc, puis dans un autre..... Elle chemine ainsi jusqu'à l'extrémité supérieure du tube, par laquelle elle s'écoule. On voit que l'eau ne pouvant occuper que les arcs inférieurs de la spirale, les portions de liquide qui s'élèvent en même temps ne peuvent point être contiguës, et l'écoulement ne peut se faire que par intermittence. — La quantité d'eau élevée par cette machine, connue sous le nom de *vis d'Archimède*, est d'autant plus petite que l'axe du cylindre fait un plus grand angle aigu avec l'horizon. — La figure 49 est suffisante pour comprendre le jeu de la vis d'Archimède; mais on lui donne ordinairement une autre forme : elle se compose d'un cylindre creux dans lequel on a introduit une vis dont le filet a la forme d'un ruban, qui serait assujetti à s'appliquer par l'un de ses bords contre l'axe du cylindre, en suivant la trace d'une hélice tracée sur son contour.

On peut encore faire servir la force centrifuge à l'élévation de l'eau. La figure 50 peut faire concevoir le principe de la pompe dite *à force centrifuge : a b* est un tube portant deux coudes à angle droit; la branche horizontale *a* tournant autour de la branche *b* comme axe, on voit que le tube ayant été préalablement rempli d'eau, l'écoulement devra se faire par *a*, tant que durera la rotation. On peut même augmenter la dépense en adaptant au tube vertical *b*, auquel on donnera un assez grand diamètre, un certain nombre de branches horizontales qui se déverseraient alors dans une cuve circulaire. Pour s'épargner l'embarras de remplir le tube à chaque interruption, on place à son fond une soupape s'ouvrant de bas en haut. On conçoit sans doute que l'eau s'élève dans la branche *b* comme dans les autres

pompes, c'est-à-dire en vertu de la pression atmosphérique, qui la force à monter derrière celle que la force centrifuge fait jaillir de l'orifice *a*. — La vitesse de rotation doit d'ailleurs être en rapport avec la différence de niveau du point *a* et du réservoir.

La plus commune expérience a sans doute conduit nos lecteurs à remarquer que lorsque l'eau se meut dans un tuyau avec une certaine vitesse, et qu'on ferme subitement le robinet de décharge, il se produit un choc assez violent pour être très-distinctement entendu : cet effet n'a rien de surprenant, car la colonne d'eau étant en mouvement dans le tube, si tout à coup un obstacle l'arrête, elle doit choquer cet obstacle précisément comme le ferait une barre de fer ou une tige de bois d'un poids égal qui se mouvrait avec la même vitesse. Remarquons toutefois qu'en vertu de la propriété des fluides, la colonne d'eau, après le choc, fait effort dans tous les sens; elle agit donc avec une certaine force contre les parois intérieures du tuyau, de sorte que si celui-ci était en plomb et qu'il eût une grande longueur, il pourrait arriver qu'il s'élargît ou même qu'il crevât. On a mis ces remarques à profit, et c'est sur le phénomène dont il est question qu'est fondé en principe la machine connue sous le nom de *bélier hydraulique*, et qui sert à l'élévation des eaux.

Le bélier hydraulique peut être considéré comme composé d'un tuyau en pente, à travers lequel descend le liquide (*fig.* 51); ce tuyau porterait à son extrémité inférieure une soupape d'arrêt qui se fermerait par intervalles, et un petit tube qui, prenant son origine vers l'extrémité du tuyau, s'élèverait jusqu'à un réservoir supérieur dans lequel s'écoulerait une portion de l'eau introduite dans le tube à chaque pulsation, ou, comme on le dit, à chaque *coup de bélier*. Soit, par exemple,

un tuyau de trente pieds de longueur, de deux pouces de diamètre et de six pieds de pente; on a remarqué que la quantité de mouvement acquise par le liquide après une seconde, suffisait pour chasser à chaque coup de bélier un quart de litre environ du liquide, dans un tuyau d'ascension conduisant à un réservoir situé à quarante pieds de hauteur. Un tel appareil, si la soupape d'arrêt se fermait une fois par seconde, élèverait donc à cette hauteur soixante quarts de litres, ou quinze litres environ, par minute. Nous renverrons, pour la description de cette soupape d'arrêt et des autres pièces du bélier, aux Traités de Mécanique pratique. La figure 51 suffit au but que nous nous proposons; elle représente la partie inférieure de la machine : *a* est la soupape qui se ferme de bas en haut, et dont le poids spécifique doit être plus grand que celui de l'eau. — Le bélier est représenté à l'instant où cette soupape vient de se fermer par l'effet de la vitesse accélérée de l'eau qui s'échappait un moment auparavant par cette ouverture, mais qui ayant vaincu l'excédant du poids de cette soupape, l'applique vivement contre le bord inférieur de l'issue. Alors toute la colonne d'eau contenue dans le tuyau de chute *c*, qui était en mouvement, s'arrête tout à coup et fait effort en tous sens contre les parois intérieures du tuyau; celui-ci ayant peu d'élasticité, l'eau y éprouve une pression qui, s'exerçant sur la soupape *b* du tuyau vertical, introduira dans le petit réservoir sphérique une quantité de liquide qui dépendra de la violence du coup de bélier. Arrivée dans ce réservoir à eau, que nous avons déjà décrit figure 20, la réaction du fluide élastique le forcera à s'élever en un jet continu par le tuyau d'ascension *i*. Cet effet ayant eu lieu, la soupape *a*, en vertu de son excédant de poids sur l'eau, s'ouvre, l'eau coule de nouveau par l'issue qu'elle fermait tout à

l'heure, et cela jusqu'à ce qu'elle ait acquis assez de vitesse pour fermer de nouveau la soupape *a*. Un second coup de bélier a lieu alors, et les mêmes effets se reproduisent.

Nous avons eu, dans cette dernière partie, un très-grand nombre de phénomènes à expliquer; nous aurions pu y ajouter beaucoup en puisant dans la nature ou dans les travaux des arts, et cependant cette multitude de faits ne sont que les corollaires de quelques lois simples, de quelques vérités d'une généralité sublime, que la méthode scientifique a mises à la portée des intelligences les plus communes. Tel est l'avantage de la science, qu'elle élève des générations tout entières à la hauteur des hommes de génie qui les ont précédées, et que leurs découvertes, fruits de longues et pénibles recherches, passent dans les masses comme un héritage qui se répartit entre elles, sans rien perdre en se divisant.

FIN DE L'HYDRODYNAMIQUE.

SECTION QUATRIÈME.

ACOUSTIQUE.

PHÉNOMÈNES DE LA PRODUCTION DU SON ET DE SA TRANSMISSION JUSQU'A NOS ORGANES. — DE L'AUDITION.

ANALYSE DE LA SECTION.

1° LE SON *est l'effet d'un mouvement vibratoire imprimé à l'air ou à tout autre corps, mis en communication médiate ou immédiate avec l'oreille.*

2° *Si les pulsations du corps sonore sont très-fréquentes, l'oreille ne peut plus les saisir séparément l'une de l'autre, on entend alors un* SON CONTINU *qui est d'autant plus* GRAVE *ou plus* AIGU, *que le nombre des pulsations, dans un temps donné, est plus petit ou plus grand ; — de sorte que tout son continu est une série de pulsations distinctes en effet, mais qui cessent de l'être pour l'oreille.*

3° *Lorsque le nombre de ces pulsations ou vibrations est assez grand pour produire un son continu, et qu'en même temps il est dans un rapport simple (comme ceux de deux à un, trois à un, quatre à un, etc., par exemple) avec le nombre qui correspond à un autre son simultané ou au moins peu distant, l'oreille est agréablement affectée, et l'on dit alors que ces sons se trouvent dans des rapports musicaux ; s'ils frappent l'oreille en même temps, il y a accord ou consonnance ; si le rapport de leurs nombres de vibrations n'est point simple, il y a désaccord ou dissonance, c'est-à-dire que l'oreille est désagréablement affectée.*

4° *Le mouvement vibratoire d'où résulte le son, se propage dans les corps à la manière des ondulations excitées dans les liquides ; le son diminue d'intensité à mesure que la distance au corps vibrant augmente, sa vitesse paraît être à*

peu près uniforme ; elle est, dans l'air, de 340m88 *par seconde, à la température de* 16 *degrés.*

5° *Le son se réfléchit contre les obstacles qu'il rencontre ; — de là naissent des effets curieux, connus sous le nom d'échos, etc.*

6° *De la structure de l'oreille.*

Les premiers philosophes qui interrogèrent la nature, avaient remarqué que le bruit ou le son était un phénomène coïncidant toujours avec un certain mouvement vibratoire dans le corps sonore ; mouvement souvent visible, mais quelquefois sensible seulement au toucher, quelquefois même fort difficile à découvrir, dans les circonstances ordinaires. — La corde de la harpe, l'anche du basson, les branches du diapason, le bord d'une cloche, offrent journellement des exemples de ce mouvement vibratoire. — Cependant il était réservé aux modernes de montrer que les sons, malgré leurs variétés infinies, n'étaient réellement que ce mouvement lui-même, qui, en se communiquant du corps sonore aux corps solides ou fluides environnans, se propageait ainsi jusqu'à l'organe si admirablement disposé pour recevoir ce genre de sensation, et que l'on appelle l'*oreille.*

Occupons-nous d'abord de la production et de la transmission du son, avant de faire connaître cet organe si délicat et si complexe.

Tout ce qui se trouve à la surface terrestre étant plongé dans l'océan d'air qui lui sert d'enveloppe, nous sommes beaucoup plus souvent avertis des chocs et des mouvemens vibratoires par l'intermédiaire du fluide atmosphérique que de tout autre manière. — De cette circonstance naquit le préjugé que l'air était nécessaire à la production du son ; ce qui fit regarder l'acoustique comme une des branches de la mécanique des

fluides aériformes. Nous verrons bientôt cependant que tous les corps, solides ou fluides, sont plus ou moins aptes à transmettre les vibrations excitées dans les corps sonores, et que l'air n'est ni le meilleur, ni le plus prompt médiateur entre ces corps et nous. — Les notions fausses qu'on aurait pu se former à cet égard étant ainsi rectifiées, il n'y a plus aucun inconvénient à étudier la théorie des sons comme partie de la pneumatique.

1° *Le son est l'effet d'un mouvement vibratoire qui se transmet par l'air, ou par tout autre corps, jusqu'à l'oreille.* (*Voyez* l'analyse.)

Nous pouvons prendre pour exemple de pulsation simple — le choc du marteau, — le claquement des mains, — le bruit du fouet, — la détonation du fusil, — les explosions soudaines, etc.

L'éclat du son transmis par l'air jusqu'à l'oreille, dépend de la densité de ce fluide. — Le son de la cloche qu'on fait vibrer à l'aide d'un ressort d'horlogerie, sous le récipient de la machine pneumatique, s'affaiblit de plus en plus à mesure que l'exhaustion s'opère; il s'éteint complètement quand le vide est parfait. — Le choc du marteau dans le vide n'est pas plus perceptible que celui de la cloche, si toutes les précautions ont été prises pour que la vibration ne se transmette point à travers les corps solides environnans. — Dans l'air raréfié qui enveloppe le sommet des montagnes, la détonation d'un pistolet ne produit guère plus de bruit qu'un pétard dans la plaine; — la voix humaine y est très-faible, — tandis que dans l'atmosphère condensée de la cloche du plongeur, un simple chuchotement est parfaitement entendu. — Lorsqu'on soupçonna l'existence de volcans dans la lune, et d'autres phénomènes ana-

logues à ceux que nous observons sur la terre, quelques personnes prétendirent que durant le calme de la nuit on aurait dû entendre de notre planète les détonations qui accompagnent les éruptions de ces volcans; — mais quelque bruyantes qu'elles puissent être, la chose était impossible, puisque le vide nous sépare de notre satellite; puisqu'il n'existe point d'intermédiaire entre lui et nous pour transmettre les vibrations sonores.

2° *Si les pulsations du corps sonore sont très-fréquentes, l'oreille ne peut plus les saisir séparément l'une de l'autre; on entend alors un son continu qui est d'autant plus grave ou plus aigu, que le nombre de vibrations, dans un temps donné, est plus petit ou plus grand; — de sorte que tout son continu est une série de pulsations distinctes en effet, mais qui cessent de l'être pour l'oreille.* (*Voyez* l'analyse.)

Ayons une roue armée de petites dents à sa circonférence, faisons tourner cette roue sur son axe de manière que chaque dent rencontre successivement une petite lame plus ou moins élastique, une lame de tuyau de plume, par exemple; si cette roue tourne lentement, l'on distinguera parfaitement le moment où chaque dent ébranlera la lame, et l'oreille, de son côté, en sera avertie par des chocs bien distincts; mais si l'on communique à la roue une vitesse toujours croissante, l'œil et l'oreille saisiront de moins en moins facilement les instans du choc, et bientôt le premier n'apercevra plus qu'un objet confus, tandis que celle-ci sera frappée par un son continu dont le caractère changera avec la vitesse de la roue.

Une longue corde de harpe fixée par ses deux extrémités, reproduira des phénomènes analogues; si elle

est lâche et qu'on l'ébranle, les oscillations qu'elle accomplira à droite et à gauche de sa position première seront parfaitement visibles, et les pulsations qu'elle imprimera à l'air se transmettront séparément à l'oreille; mais à mesure qu'on la tendra, ses oscillations deviendront plus rapides, et bientôt l'œil n'apercevra plus qu'une ombre vague d'une largeur sensible, tandis que les sons d'abord distincts pour l'oreille se succéderont avec une telle rapidité, qu'ils se confondront pour elle en un son uniforme continu qui constitue la note ou le son propre à la corde dans les circonstances où elle se trouve.

C'est l'élasticité de la corde qui est la cause de cette rapidité de vibration, et par conséquent celle de la continuité dans le son. — Lorsqu'on la pince par le milieu, qu'on l'écarte de sa position primitive et qu'on l'abandonne à elle-même, son élasticité la ramène d'abord avec une grande vitesse à cette position; mais en y arrivant elle est animée d'un excès de vitesse qui la porte de l'autre côté à une distance à peu près aussi grande que celle dont on l'avait écartée, précisément comme le fait un pendule qu'on a dévié de la verticale: — Arrivée là, l'élasticité la ramène de nouveau à la position moyenne dont un excès de vitesse l'éloigne encore d'une quantité à peu près égale à celle dont elle se trouvait éloignée avant de revenir sur elle-même; enfin, le premier effet se reproduit encore une fois, le second se reproduit à son tour, et ce mouvement oscillatoire à droite et à gauche de la position moyenne, se continue jusqu'à ce que la résistance de l'air et les autres obstacles au mouvement l'aient complètement anéanti.

L'amplitude d'une oscillation n'a point d'influence sensible sur sa durée. — Nouvelle analogie, comme on le voit, entre le pendule et les cordes vibrantes; le fait

s'explique de la même manière. — Lorsqu'on éloigne la corde à une grande distance de sa position moyenne, l'élasticité l'y ramène avec plus de vitesse que si l'écart eût été petit; il semble qu'en général la vitesse se proportionne à l'espace qu'elle doit parcourir. — Il y a alors une compensation qui établit l'uniformité dans le son musical. — Cependant, si l'amplitude n'a point d'influence sur la durée de l'oscillation, elle en a une sur la force du son; l'on sent, en effet, que, la vitesse que prend la corde augmentant avec l'écart, la force avec laquelle elle frappe l'air en revenant augmente aussi, et le son devient alors plus éclatant, sans changer pour cela de nature. — Les vibrations qui s'accomplissent lentement sont à peine sensibles à l'oreille; telles sont celles produites par le battement des ailes du pigeon, par le mouvement qu'on imprime à une houssine, etc., etc.

Nous avons choisi pour exemple de vibrations, le mouvement d'une corde élastique invariablement fixée à deux points, parce que c'est celui que présentent les instrumens à cordes, dont tout le monde a une idée; mais il est bien d'autres circonstances où ce mouvement de vibration se remarque, et l'on peut dire que presque tous les corps élastiques en sont susceptibles; que déviés une seule fois de leur position première, altérés dans leur état normal, ils y reviennent par une série d'oscillations plus ou moins rapides, qui donnent naissance à un son continu; — ainsi, ayez une lame d'acier, de verre, ou de toute autre substance élastique, fixez solidement l'une de ses extrémités, en laissant l'autre extrémité libre, cette dernière va prendre une certaine position d'équilibre; éloignez alors la partie libre de la lame, en l'écartant à droite ou à gauche de cette position d'équilibre, puis abandonnez-la tout à

coup à elle-même, vous la verrez d'abord revenir à la position moyenne, puis la dépasser en vertu de sa vitesse acquise, puis y revenir encore une fois, pour la dépasser de l'autre côté, puis y revenir et la dépasser encore; enfin, accomplir un certain nombre d'oscillations avant de revenir au repos. — Qui ne s'est amusé, pendant les longues heures de l'école, à implanter sur le banc maudit la pointe de son canif, et à le faire vibrer, en écartant un peu le manche de sa position d'équilibre; avec quel plaisir l'écolier ne jouit-il pas de cette musique, qu'il renouvelle et interrompt, selon que le maître ou s'éloigne ou s'approche. — Les branches du diapason agissent de la même manière, lorsqu'on les ébranle. — Dans les tabatières et les pendules, dites *à musique*, les sons se produisent de même, par la vibration de petites lames d'acier solidement fixées à une pièce de la machine, à peu près comme les dents d'un peigne. — L'anche de la clarinette est une petite lame mince et élastique, que l'insufflation fait vibrer; une petite fente est laissée pour le passage de l'air qui, poussé vivement par les poumons, enfile cette fente et soulève la lame; celle-ci se referme de suite, en cédant à l'élasticité des fibres ligneuses; l'air et l'anche réagissent sans cesse l'un sur l'autre, et il en résulte un son continu. — Des lames élastiques reposant simplement par leurs deux extrémités sur des supports, ou suspendues par leur milieu, sont susceptibles d'entrer aussi en vibration : On a construit sur ce principe un petit instrument qui se compose de lames de verre disposées sur doux cordons, et qu'on fait vibrer en les frappant avec un ou deux petits marteaux de liége. Cet instrument est connu dans l'île de Java, seulement on y remplace le verre par un bois dur et élastique. — Un hémisphère creux et métallique entre très-promptement en vibrations; la forme de ses

bords change constamment pendant leur durée, elle passe sans cesse de la forme circulaire à la forme elliptique, et réciproquement; — imprimant ainsi à chaque mutation des percussions à l'air environnant, qui nous donnent alors la sensation d'un son continu; cet appareil n'est autre chose qu'une *cloche*. — On peut donner aux cloches une très-grande variété de forme, et s'il est préférable de les construire en métal, cela n'est point indispensable; le verre, le bois dur, la terre, rendraient aussi des sons, puisqu'ils entreraient en vibration; — les connaisseurs en poterie ont coutume de la faire résonner en la frappant, avant de l'acheter. — Le *tamtam chinois* est un vaisseau métallique qui a la forme de nos tamis, dont le timbre tout particulier produit des sons aussi déchirans que sublimes. — Le *tambour* se compose d'une caisse cylindrique de bois ou de métal, dont les bases sont formées d'une membrane élastique et tendue, qui reçoit les chocs d'une ou plusieurs baguettes qui font vibrer tout l'ensemble : les sons du tambour ne se prolongent point, parce que la résistance de l'air anéantit bientôt le mouvement de la large surface vibrante. — Dans les flutes, les flageolets, les tuyaux d'orgue, etc., l'air est chassé dans des tubes plus ou moins étroits, et divisé de manière à subir des condensations ou des interruptions constantes, mais parfaitement régulières, qui affectent l'oreille; de là cette variété infinie de sons mélodieux que produisent ces instrumens.

La perfection d'un son ne dépend point de la manière dont les vibrations aériennes ont été exécutées, pourvu toutefois qu'elles se succèdent avec une certaine régularité : témoin le son pur produit par le mouvement des ailes d'une mouche, — son qu'on prétend souvent être la voix de l'insecte. — Si le tictac du moulin, le bruit

du bâton qu'on promène à la surface d'une grille, ne sont point des sons musicaux, c'est que les pulsations se succèdent trop lentement.

Lorsqu'un son continu est le résultat d'impulsions qui ne se succèdent point avec la régularité de celles qui sont dues aux vibrations d'un corps élastique, il n'a plus cette clarté et cette uniformité qui distinguent le son proprement dit, — c'est alors un *bruit;* — tel est l'effet du mouvement de la scie, ou de la meule; — tels sont le rugissement des vagues qui se brisent contre un roc, celui d'un vent violent qui souffle dans une forêt, — le pétillement et le bourdonnement des flammes dans les grands incendies, — le bruit confus d'une multitude en fureur, — le mélange de sons si variés qu'offrent les villes populeuses et commerçantes, tels que le roulement des voitures, le retentissement des marteaux, les cris des marchands, les bruits singuliers des diverses manufactures, etc. : élémens grossiers qui se croisant et se combinant de mille manières, produisent cependant une certaine continuité, dont le résultat est souvent appelé le bourdonnement des hommes, par analogie sans doute avec celui des abeilles dans la ruche.

Sons graves et aigus. (*Voy.* l'analyse.)

La gravité et l'acuité des sons dépendent du nombre de vibrations accomplies dans un temps donné par le corps sonore. Plus le nombre de ces vibrations est grand pour un temps donné, plus le son est *aigu;* moins ce nombre est grand, plus il est *bas* ou *grave.*

Le nombre ou la fréquence des vibrations dans les cordes qu'on ébranle, augmente avec leur tension, avec leur légèreté, et diminue avec leur longueur. — On conçoit immédiatement qu'il en doit être ainsi, car plus une corde est longue et pesante, plus grande est la masse

à mouvoir, plus petite est la vitesse, plus petit est le nombre de vibrations accomplies dans un temps donné, et enfin plus grave est le son d'après ce que nous avons dit ci-dessus. — D'un autre côté, plus une corde est lâche ou moins grande est la tension, moins est grande la force qui tend à la ramener à la position dont on l'écarte, moins grande est la vitesse avec laquelle elle y revient, moindre est le nombre de vibrations accomplies dans un temps donné, et dès lors plus grave est le son. — Soit prise une corde d'une longueur connue, tendue par un poids connu, on trouve que la moitié de cette corde accomplit deux fois autant de vibrations que la corde entière dans le même temps; on peut encore obtenir un nombre de vibrations double, en laissant à cette corde la longueur entière, mais en la tendant par un poids *quadruple* (1).

Le violon offre une application de ces diverses lois. La corde la plus basse (le *sol*) est épaisse, et le fil mé-

---

(1) La formule de relation entre le nombre des vibrations, la longueur de la corde, sa nature et sa tension, est la suivante :

n étant le nombre de vibrations accomplies en une seconde,
e l'épaisseur de la corde,
l sa longueur,
p le poids spécifique de sa substance,
P le poids qui la tend; — on a

$$n = \frac{3.533397}{e\,l} \sqrt{\left(\frac{P}{p}\right)},$$

formule d'où l'on déduirait que

1° Plus une corde est tendue, plus ses vibrations sont promptes.

2° Les nombres d'oscillations, dans un temps donné, pour deux cordes égales en tout, mais inégalement tendues, sont comme les racines quarrées des poids qui les tendent.

3° Deux cordes également tendues, mais de longueurs différentes, accomplissent dans un même temps des nombres de vibrations qui sont en raison inverse des longueurs.

(*Note du traducteur.*)

tallique qui l'enveloppe est une masse que l'élasticité doit entraîner, et qui augmente la durée des vibrations. Le diamètre et le poids de la seconde corde (le *re*) sont moindres que pour la première, moindres encore pour la troisième (le *la*), et pour la quatrième (le *mi*) qu'on appelle la *chanterelle*. On les accorde l'une sur l'autre, en tournant plus ou moins les chevilles autour desquelles elles s'enroulent par une de leurs extrémités, ce qui fait varier leur tension; — puis l'artiste, par les positions variées que prennent ses doigts sur les diverses cordes, les raccourcit, et obtient ainsi tous les degrés de ton du grave à l'aigu compris dans les limites de l'instrument. — Une loi analogue régit les vibrations des cloches, des verres, des anches, des lames élastiques, et nous permet de les faire entrer dans la construction de nos instrumens *de musique* (1).

3° *Lorsque le nombre de ces pulsations ou vibrations est assez grand pour produire un son continu, et qu'en même temps il est dans un rapport simple (comme ceux de deux à un, trois à un, quatre à un, etc., par exemple) avec le nombre qui correspond à un autre son simultané ou au moins peu*

(1) Je renverrai le lecteur au Traité de Chladni, ou au Traité de Physique, en 4 volumes, de M. Biot; il me serait impossible de résumer dans des notes ce qu'on connaît de la théorie mathématique des vibrations des corps solides. J'ajouterai cependant cette loi générale, découverte par Daniel Bernouilli, que :

Quelle que soit la nature de leur substance, pourvu qu'elles soient homogènes quant à la matière et à la forme, les tiges cylindriques ou prismatiques, les lames auxquelles on donne successivement des longueurs différentes, accomplissent dans le même temps des nombres de vibrations qui sont en raison inverse des carrés de ces longueurs.

(*Note du traducteur.*)

distant, l'oreille est agréablement affectée, et l'on dit alors que ces sons se trouvent dans des rapports musicaux; s'ils frappent l'oreille en même temps, il y a accord ou consonnance; si le rapport de leurs nombres de vibrations n'est point simple, il y a désacord ou dissonance, c'est-à-dire que l'oreille est désagréablement affectée. (*Voyez* l'analyse.)

Maintenant que nous savons que tous les sons uniformes et continus sont produits par une succession de battemens semblables ou de vibrations, il est facile de voir que dans une série de ces sons procédant du grave à l'aigu, il devra s'en trouver quelques-uns dont les nombres de vibrations seront dans les rapports de 1 à 2, à 3, 4, 5, etc., ou, ce qui revient absolument au même, dans ceux de 10 à 20, à 30, 40, 50, etc. — Or, comme entre deux sons, dont l'un se composera de 20 vibrations, et l'autre de 10 dans le même temps, il y aura nécessairement une coïncidence à chaque second battement du premier, il est naturel de penser que l'oreille ne sera point affectée comme elle le pourrait être par deux autres sons dont les rapports de vibrations seraient 30 à 20, et qui donneraient lieu à une coïncidence à chaque troisième battement du plus aigu. — La différence serait encore plus sensible, si la coïncidence avait lieu à chaque 5e, 7e, etc., battement de l'un ou de l'autre, ou si l'on faisait résonner ensemble des corps sonores dont les coïncidences se présenteraient fort irrégulièrement. — L'on remarque que tous les sons dont les nombres de vibrations sont l'un à l'autre dans des rapports simples, produisent un effet fort agréable et qui plaît beaucoup à l'oreille, que ces sons soient d'ailleurs simultanés ou qu'ils se succèdent assez rapidement; — tandis qu'au contraire ceux qui ne donnent

lieu qu'à des coïncidences peu fréquentes, ou sont entendus avec indifférence, ou sont complètement désagréables; il y a dans le premier cas *consonnance*, et *dissonance* dans le second. — Il est d'ailleurs un fait acoustique très-remarquable, et qui trouve naturellement sa place ici, c'est que lorsqu'on fait résonner à la fois deux sons à intervalles consonnans, les battemens auxquels la résonnance donne lieu deviennent les élémens d'un troisième son qu'on entend avec eux, et qu'on appelle leur *harmonique grave* (1).

Si l'on a une longue corde musicale, corde de harpe, par exemple, et qu'on la fasse résonner en comptant le nombre de ses vibrations dans un temps donné, on trouve que chacune de ses moitiés accomplit deux fois autant de vibrations dans le même temps que la corde entière; et qu'en général on obtient des nombres de vibrations représentés par 2, 3, 4, 5, lorsque sans changer sa tension on fait vibrer seulement les $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ de sa longueur. — Ce qu'il y a de très-remarquable, c'est que ces sons, dont les nombres de vibrations suivent la série des nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc., existent *simultanément* dans les vibrations d'une seule

(1) Ce troisième son s'appelle plus généralement, la *résultante* des deux sons donnés. Cette résultante a été d'abord reconnue par Romier et Tartini. M. le général Blein a répété et complété récemment leurs expériences; il est parvenu à ce résultat général extrêmement simple :

Si l'on représente les deux sons soumis à l'expérience, l'un par son nombre de vibrations n, et l'autre par le nombre $n + m$, les *deux* résultantes qu'on obtient sont constamment $n - m$ et m. Ainsi, en faisant résonner l'ut et le sol du violoncelle, on entend, outre ces deux sons, un troisième son, qui est l'ut de l'octave inférieure. (*Voyez* son Exposé de quelques Principes nouveaux sur l'Acoustique et la Théorie des Vibrations. Paris, 1827.)

(*Note du traducteur.*)

et unique corde. — Le violoncelle est peut-être l'instrument le plus commode pour vérifier cette loi par l'expérience; que l'on ébranle à vide la grosse corde ou le bourdon, en la touchant très-légèrement avec l'archet à une petite distance du chevalet, on n'entendra pas seulement le *son fondamental* de cette corde, celui qu'elle rend en vibrant de toute sa longueur, mais on entend encore, quoique plus faiblement, tous ceux qui sont rendus par sa moitié, son tiers, son quart, etc., qui, se confondant de la manière la plus agréable avec le premier son, forment une très-riche harmonie, qui sans doute a fait donner à ces sons le nom de *sons harmoniques*. Il arrive souvent que ces sons harmoniques enflent assez pour éteindre pendant un certain temps la note fondamentale; et si l'on examine alors la corde avec attention, on voit chacune de ses moitiés, chacun de ses tiers, chacun de ses quarts, de ses cinquièmes, de ses sixièmes, vibrer séparément et former des *ventres* autour de points fixes de séparation qu'on appelle des *nœuds*. Ces derniers points sont immobiles relativement aux ventres, ainsi qu'il est facile de s'en assurer en plaçant sur ces nœuds et sur les ventres de petits chevrons de papier; car lorsqu'on fait vibrer la corde, les chevrons situés sur les ventres se renversent, tandis que les autres restent immobiles. — On obtient encore des sons harmoniques en ébranlant d'abord la corde au moyen de l'archet, puis la touchant *légèrement* avec le doigt dans les points où l'on veut la diviser.

Ces sons qui résultent de la division spontanée d'une corde unique en nombres différens de parties égales, constituent, par leur réunion ou leur succession, la musique simple de la nature. — Nous avons vu qu'on les obtenait assez facilement sur le violoncelle, mais ils se

produisent d'une manière bien plus parfaite dans ce singulier instrument, connu sous le nom de *harpe éolienne*.

La harpe éolienne est une longue caisse de bois léger, portant sur l'une de ses faces un nombre plus ou moins grand de cordes de violon ou de harpe. — On a coutume d'accorder toutes ces différentes cordes bien parfaitement à l'*unisson* les unes des autres ; mais lorsqu'on la suspend dans un bosquet au milieu des arbres, ou dans tout autre lieu où la brise flottante puisse se jouer facilement, chaque corde suivant le point où elle a été touchée, suivant la manière dont le vent l'a fait vibrer, résonne tout entière ou se divise en un certain nombre de parties qui vibrent les harmoniques, comme nous l'avons expliqué ci-dessus. Il résulte de l'ensemble une combinaison et une succession de sons de l'effet le plus varié et le plus extraordinaire, et dont il est difficile de se faire une idée. — Après un moment de silence on entend quelquefois une note grave et solennelle sortir seule de cette harpe magique, comme la basse d'une musique distante dont le timbre a un caractère tout particulier : bientôt le son enfle comme s'il approchait, et l'on croit alors distinguer les autres parties d'un chœur de vierges célestes qui viennent se mêler aux voix graves et sépulcrales qu'on avait d'abord entendues ; tantôt une note se prolonge en s'élevant au-dessus de l'ensemble de cette harmonie sombre et plaintive, puis une autre la remplace ; et il semble que des chants dialogués se succèdent les uns aux autres ; puis le concert s'éloigne, se rapproche, s'éloigne encore, et tout rentre dans le silence, tout s'éteint avec le dernier souffle du zéphir. — Il n'est pas surprenant que les anciens, qui ne connaissaient point la nature de l'air, ni par conséquent les lois de la transmission du son, aient regardé la musique sauvage et tendre de la harpe éolienne comme quelque

chose de surnaturel, et qu'avec leur imagination exaltée ces singuliers accords aient été pris par eux pour le langage d'êtres invisibles descendus des cieux pendant le calme de la nuit. Mais aujourd'hui même que l'on comprend parfaitement les causes et les effets de ces singuliers phénomènes acoustiques, il est impossible, en entendant ces accords, de ne point se laisser aller à une mélancolie rêveuse qui évoque des images à la fois charmantes et terribles.

Comme la plus simple échelle de son indiquée par la nature dans la division spontanée d'une corde unique, laissait entre elles des intervalles considérables, le goût ou le sentiment naturel interposa dans ces intervalles, long-temps avant la création d'une théorie de la musique, les notes d'une autre corde un peu plus aiguë que la première, et celle d'une troisième corde un peu plus grave. — Ces notes additionnelles sont en partie à l'unisson de certaines notes de la corde principale, tandis que les autres remplissent les plus grands intervalles et complètent ainsi une série échelonnée à peu près uniformément. — C'est ainsi qu'à l'aide de trois échelles de bois, chacune inégalement divisée, on pourrait former, en les réunissant, une espèce d'escalier d'une montée facile. — La relation entre les cordes dont nous venons de parler, est celle qui existerait entre un système de trois échelles semblablement divisées, et dont celle du milieu, ou la principale, aurait les deux tiers de la longueur de la plus grande, et dont la plus courte aurait les deux tiers de la longueur de la principale. — Cette gradation est tellement naturelle qu'elle a été adoptée par toutes les nations, quelque éloignées qu'elles soient, par celles mêmes qui n'ont eu aucun rapport entre elles, et l'homme tout-à-fait étranger aux principes de la musique, et à qui l'on demande d'élever sa voix par degrés

réguliers, tombe dans ce mode de division presque aussi promptement que le professeur instruit. L'échelle musicale se compose de huit degrés ou notes, en y comprenant la première, ou la note fondamentale, et la dernière, dont le son est le produit d'un nombre de vibrations double ou seulement moitié; dans le premier cas, cette dernière note s'appelle *octave* supérieure du ton fondamental; dans le second, elle se nomme son *octave* inférieure. Cette note fondamentale se nomme elle-même la *tonique*, et les notes intermédiaires prises suivant l'ordre ascendant du grave à l'aigu, sont appelées les *seconde*, *tierce*, *quarte*, *quinte*, *sixte* et *septième* de la tonique.

Les nombres qui expriment les relations entre les quantités de vibrations de toutes les notes d'une octave, se déduisent facilement des données suivantes; savoir : 1° le nombre relatif de vibrations des notes d'une corde simple; 2° cette considération que : dans l'échelle composée des trois cordes ci-dessus, les notes de la plus haute accomplissent trois vibrations pendant que les notes correspondantes de la principale en accomplissent deux; que ces dernières en accomplissent trois pendant que les correspondantes sur la plus grave n'en donnent que deux; 3° que, dans l'échelle complète, la corde principale commence cinq notes au-dessus de la plus basse et cinq notes au-dessous de la plus haute : — il en résulte pour l'expression numérique des vibrations des notes ascendantes successives d'une octave, la série :

Nombre de vibrations.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

vibrations qui sont données par les longueurs de cordes de la série ci-dessous :

Longueurs	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$

et qui produisent tous les tons de la *gamme naturelle majeure*, qu'on désigne par

C D E F G A B *C*,

ou

ut ré mi fa sol là si ut.

Les *octaves* de chacun des sons de la gamme correspondent à des longueurs de corde ou à des nombres de vibrations doubles, quadruples....., etc., ou moitié, quart....., etc., selon qu'on monte vers l'aigu ou qu'on descend vers le grave. Les octaves aiguës du *ré*, par exemple, seraient données par des cordes dont les longueurs, pour le même diamètre et la même tension, seraient $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ de celle qui donne ce *ré;* et comme celle-ci est les $\frac{8}{9}$ de la corde qui donnent l'*ut*, on voit que ces longueurs seraient $\frac{4}{9}$, $\frac{2}{9}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{18}$..., et que les nombres de vibrations, durant le temps que la corde entière *ut* ferait une seule excursion, seraient $\frac{9}{4}$, $\frac{9}{2}$, 9, 18... en sorte que le *ré*, à la triple octave, est rendu par une corde qui n'a que le neuvième de la corde entière produisant l'*ut* primitif, et fait neuf vibrations tandis que celle-ci n'en accomplit qu'une seule. Le son le plus grave que l'oreille puisse apprécier, accomplit environ trente vibrations par seconde, et le plus aigu environ trente mille; ces limites comprennent entre elles environ dix octaves, mais pour certaines oreilles les sons extrêmes sont tout-à-fait inappréciables. Quelques personnes, par exemple, n'entendent point du tout la note aiguë de la cigale, tandis qu'il en est d'autres tout-à-fait sourdes aux plus graves notes de l'orgue ou du piano. Cependant la perception des sons intermédiaires est parfaite chez tous les individus bien organisés. — Il est peu d'instrumens de musique qui comprennent plus de six octaves, et la voix humaine, en

général, n'en comporte guère plus de trois, la voix des hommes étant d'une octave plus basse que celle des femmes (1).

Si les intervalles de l'échelle musicale étaient égaux entre eux, on pourrait prendre indifféremment pour tonique une note quelconque de la gamme ci-dessus, et ne considérer que la distance à cette note, soit en montant, soit en descendant; il serait indifférent de commencer un chant par une note ou par une autre, par exemple, car rien ne serait altéré que le degré d'acuité. Mais il est facile de voir que ces intervalles n'ont point cette égalité, il en est deux surtout très-sensiblement différens des autres, comme on peut le remarquer dans la gamme ci-dessus; ils sont situés entre la tierce et la quarte, et entre la septième et l'octave, c'est-à-dire de mi à fa et de si à ut; on leur a donné le nom de *demi-ton*. Cette circonstance

---

(1) En appelant, comme on le fait ordinairement, *ut* 1 la note donnée par la grosse corde du violoncelle lorsqu'on l'ébranle à vide, et qui fait alors 127.4 vibrations par seconde, on peut classer les différentes voix de la manière suivante, en commençant par la plus grave.

Voix d'hommes.	La voix de *basse* s'étend.	de fa 1 à si 2.
	bariton.	de la 1 à ré 3.
	ténore	de ut 2 à fa 3.
	haute-contre	de mi 2 à la 3.
Voix de femmes.	*contralto*.	de sol 2 à ut 4.
	2e *soprano*.	de si 2 à mi 4.
	1er *soprano*	de ré 3 à sol 4.

Le fa 1 étant exprimé par un nombre de vibrations égal à (127.2) ($\frac{4}{3}$) = 169.6, et le sol 4 par (127.2) ($\frac{3}{2}$) (8) = 1526.4; on voit que la voix d'homme fait 169.6 vibrations par seconde pour le son le plus grave, et la voix de femme 1526.4 vibrations dans le même temps pour le son le plus aigu. — Rien n'est plus facile que de calculer les vibrations des notes intermédiaires.

(*Note du traducteur.*)

explique la nécessité où l'on se trouve, lorsqu'on désire commencer un chant par un autre ton, de *diéser* ou *bémoliser* certaines notes, afin de conserver autant que possible les intervalles nécessaires. Voilà pourquoi dans les instrumens à sons fixes, tels que le piano, la guitare, etc., on a divisé ces intervalles en deux parties par des notes intermédiaires qu'on appelle *dièse* de la note immédiatement inférieure, et *bémol* de la note supérieure. — C'est en général parce qu'on saisit imparfaitement l'influence de ces intervalles inégaux, qu'on reproche à la science musicale une complication et des difficultés qui ne sont qu'apparentes.

On peut définir la *mélodie* une succession agréable de notes, qui dès-lors n'admettent dans leurs nombres de vibrations que les rapports numériques dont nous avons parlé plus haut. — Il y a *harmonie* lorsque deux ou plus de notes consonnent : on pourrait appeler l'*harmonie* un ensemble de plusieurs mélodies formant un tout agréable à l'oreille. Les effets de l'une et de l'autre s'accroissent à un haut degré en faisant correspondre leurs notes et leurs accords avec certaines *durées* régulières. Tel est le but de la *mesure*, élément constitutif de la musique, aussi essentiel peut-être que l'intonation elle-même, qui donne à l'oreille une espèce de prescience, lui fait prévoir des effets qui se réalisent, et procure par cela même ce genre de plaisir auquel le mètre et la rime donnent naissance dans la poésie ; elle nous permet, d'ailleurs, de confier plus facilement à la mémoire les combinaisons diverses qui constituent un chant. — Il est impossible de répéter la série des sons de la harpe éolienne, qui n'observent aucune mesure dans leur succession. — On retient facilement, au contraire, les marches battues sur le tambour, et bien que cet instrument militaire n'offre qu'une intonation

uniforme, il donne un certain plaisir qui tient à la précision de la mesure.

Mélodie, harmonie, mesure, intensité du son, voilà donc les quatre élémens de la musique, et il semble que chaque affection de l'âme trouve dans les combinaisons diverses de ces quatre élémens des expressions qui les dévoilent d'une manière intelligible pour tout homme bien organisé. C'est un fait difficile à expliquer que ce rapport entre les mouvemens de l'âme, entre les passions et certaines combinaisons musicales, mais il n'en est pas pour cela moins réel; cela est si vrai qu'on peut presque toujours juger des uns par les autres; ils s'associent si intimément, que mutuellement ils se trahissent, — témoin ce fredonnement presque continuel de l'homme qui n'a rien à désirer; — le sifflet de l'écolier insouciant, et la chanson du rustre qui vit au milieu des beautés de la nature; — les accens plus sonores et pour ainsi dire triomphans du chasseur et du guerrier; — l'expression tendre et mélancolique du chant de la douleur et de l'anxiété. — Cette sensibilité musicale, au reste, n'est point l'apanage de la seule race humaine, ainsi que le prouvent la délicieuse expression du chant du rossignol pendant les soirées du printemps, celui de la grive et du merle dans les retraites paisibles de nos bois; — et cette musique de la nature se compose des mêmes élémens que la nôtre.

Les notes musicales, quels que soient les instrumens dont elles émanent, ont toujours entre elles les relations numériques qui les constituent. Les différentes qualités de son, les *timbres* des divers instrumens, ne peuvent donc dépendre que de certaines circonstances dans le mode de la vibration simple, et non dans le nombre des vibrations qui, pour la même note, est constamment le même, que cette note soit donnée par la

flûte ou le cor, par le piano ou par la basse. — Telle est cependant l'extrême finesse de perception de l'oreille humaine, qu'elle distingue non-seulement les instrumens différens qui donnent une même note, mais encore ceux du même genre qui l'affectent simultanément. Ainsi elle distinguera à l'instant même que telle note a été donnée par une flûte ou par une clarinette, ou par un basson; dans cent voix qui chanteront à l'unisson le même air, elle reconnaîtra celle de telle ou telle personne qu'elle a déjà entendue. Un des plus grands charmes de ces morceaux de musique composés pour plusieurs instrumens, c'est qu'ils puissent s'isoler tour à tour de l'ensemble et se confondre ensuite en excitant chacun les passions ou les sentimens qui sont plus particulièrement sous leur empire, et en remplissant les diverses parties qui conviennent le mieux à leurs moyens. — La flûte et la clarinette, par exemple, respirent la douceur et rappellent les plaisirs champêtres; — le tambour et les instrumens de cuivre éveillent le courage et rappellent la chasse ou la guerre; — la harpe, avec ses brillans accords, est quelquefois l'instrument de la prière sacrée; — le violon conduit l'ensemble, les sons en découlent avec une rapidité et une variété qui se prêtent à tous les mouvemens et à tous les genres, etc., etc.

Pour pouvoir former des réunions d'instrumens et donner à chacun le degré d'acuité qui lui convient, il était nécessaire de fixer pour point de départ un certain nombre de vibrations accomplies dans un temps donné. Ce son fixe est conservé au moyen d'un instrument d'acier fait en forme de fer à cheval allongé et dont on fait vibrer les branches, soit en frappant l'instrument contre un corps dur, soit en faisant passer entre ces branches un objet qui les écarte un moment. Cet instrument s'appelle *diapason;* il donne le quatrième *la* du piano en

montant. Lorsqu'on connaît ce *la* et qu'on a disposé le *la* de son instrument, quel qu'il soit, flûte ou violon, à l'unisson ou à l'octave du son rendu par le diapason, il est facile de donner aux autres notes les relations harmoniques que nous avons établies ci-dessus, en élevant, par exemple, les cordes des instrumens qui en comportent, à une tension plus ou moins grande; c'est ce qu'on appelle *accorder* (1).

Tout ce qui est capable de produire des sons uniformes et continus, peut entrer dans la construction des instrumens de musique : de là une variété presque infinie qui se prête cependant aux divisions suivantes, sur lesquelles nous allons jeter un coup-d'œil : *Instrumens à cordes, instrumens à vent, cloches et lames vibrantes.*

Parmi les instrumens à cordes se rangent la *harpe*, la *lyre*, le *luth*, la *guitare*, le genre *violon*, c'est-à-dire le violon proprement dit, l'*alto*, le *violoncelle* ou *basse*, la *contrebasse;* enfin, le *piano*, etc. La harpe, la lyre et le luth, sont des inventions de l'antiquité; ils sont associés à mille souvenirs, et les derniers surtout, à des idées tendres et chevaleresques; ces instrumens inspiraient les bardes et les poètes de l'antiquité et du moyen âge; ils ont été les compagnons fidèles des hommes célèbres dont les noms ont passé jusqu'à nous. — Il semble qu'ils aient principalement servi à augmenter en-

---

(1) Le *la* du diapason est un *la* 2; il paraît qu'il n'est point le même partout; le *la* du théâtre de Berlin est à l'unisson d'une corde qui ferait . . . . . 437.32 vibrations par seconde.
Celui de l'Opéra français . . 431.34.
de Feydeau . . . . . 427.61.
du Théâtre Italien . . 424.17.

(*Note du traducteur.*)

core la puissance des émotions produites par la poésie, et leurs effets, s'il faut en croire quelques relations, paraissent avoir tenu du prodige. — Les autres instrumens sont d'invention comparativement moderne, principalement le piano forte, et la perfection qu'ils ont acquise avec les progrès des arts, a porté l'*exécution* musicale à un haut degré de difficulté, et conduit à des combinaisons de sons dont les anciens n'avaient sans doute aucune idée. — C'est une question toutefois de savoir si le style de la musique qui jouit aujourd'hui de la vogue, n'est pas plutôt la preuve de la décadence du goût musical, que celle de ses progrès et de ses perfectionnemens. — La musique est une langue naturelle intelligible pour tout le monde, à la portée même, jusqu'à un certain degré, de quelques animaux inférieurs, et il semble que l'art moderne se soit proposé pour but de lui substituer un langage de convention, destiné à se soumettre à tous les caprices de la mode. — Les ornemens et les accompagnemens occupent aujourd'hui une telle place, ils s'emparent tellement de l'attention, que la *mélodie* qui renferme l'idée, le sentiment de la composition musicale, se trouve presque complètement masquée, et que l'oreille non exercée qui écoute un *orgue*, par exemple, ne découvre dans cette espèce de confusion qu'une succession d'accords vagues et sans suite; de plus, lorsqu'on s'éloigne assez de la simplicité naturelle de la mélodie pour faire exécuter à des *voix* les traits vifs et difficiles qui sont du domaine de la musique instrumentale, on détruit complètement le charme de la poésie, en rendant les paroles tout-à-fait inintelligibles, ou en sacrifiant leur expression propre à quelque expression de convention. — Ces remarques expliquent peut-être l'insensibilité d'un si grand nombre de per-

sonnes douées d'ailleurs de hautes qualités, pour ce qu'on appelle aujourd'hui d'excellente musique.

La *guitare*, comme instrument d'accompagnement, offre, malgré la faiblesse de ses sons et même un peu de sécheresse, d'assez grands avantages : elle admet une certaine expression ; le jeu en est facile, elle exige peu d'étude, elle est portative et peu chère. — Une seule position de la main permet d'attaquer successivement les six cordes avec l'autre, de manière à leur faire rendre tous les sons d'une même gamme ; et trois positions réellement différentes suffisent à tous les accords et à toutes les notes que peut exiger un accompagnement simple ; l'artiste acquiert si facilement l'habitude de ces positions, que la main se dispose sur le manche presque sans sa participation.

Les *instrumens à vent* sont : la *flûte*, le *flageolet*, l'*orgue*, la *clarinette*, le *hautbois*, le *cor*, la *trompette*, etc. — Le degré d'acuité ou le ton d'un instrument à vent, comme celui d'une corde, dépend de sa longueur. On peut en général assimiler tout instrument à vent à un instrument à cordes ; il faut regarder la longueur de la colonne d'air, sa grosseur et sa masse, comme constituant les mêmes choses que pour une corde vibrante ; le poids de l'atmosphère au bout de la colonne est la puissance qui détermine le degré de tension ; le souffle excite les vibrations, et les trous pratiqués au tube, et qu'on ouvre ou qu'on bouche avec les doigts, sont des moyens d'accourcir ou d'allonger la partie vibrante en accélérant ou retardant les vibrations, c'est-à-dire en haussant ou baissant le ton. — Il paraît aussi qu'en soufflant de plus en plus fort, l'air renfermé dans le tube se divise en parties vibrantes, à la manière des cordes, d'où résultent tous les harmoniques du son fondamental. C'est ainsi qu'on parvient à tirer d'une flûte

ordinaire jusqu'à cinq sons harmoniques ascendans sans rien changer à la longueur de la colonne, c'est-à-dire sans altérer la position des doigts, — la trompette est limitée à cinq notes du même ton; — mais dans la flûte et les autres instrumens percés de trous, la longueur effective se compte de l'extrémité supérieure au premier trou ouvert, et chaque longueur a ses harmoniques. Il y a d'ailleurs un fait remarquable que nous ne pouvons passer sous silence, en parlant des instrumens à vent, c'est qu'un tuyau ouvert, de même longueur qu'un tuyau fermé, donne toujours un son qui est à l'octave supérieure de ce dernier. — Les sons de la *voix* humaine sont sans contredit les plus agréables qu'il soit possible d'entendre; ils résultent des vibrations de deux membranes délicates situées à la partie supérieure de la trachée-artère, laissant entre elles une petite fente qu'on appelle la *glotte*, et que l'air traverse; les sons de la voix sont graves ou aigus, suivant le degré de tension de ces membranes et la grandeur de cette ouverture. — Dans l'*orgue*, le vent est chassé à l'aide d'un soufflet, dans des tuyaux sonores disposés verticalement, dont chacun rend un son de nature et d'intonation différente, et la pression des doigts de l'organiste sur les touches du clavier, ouvre des soupapes qui admettent le vent dans les tuyaux. — L'*orgue de Barbarie*, ou la vielle organisée, est un coffre qui contient de petits tuyaux d'orgue ayant deux à trois octaves d'étendue : une manivelle saillante sur le côté, sert à manœuvrer le soufflet qui chasse le vent dans les tuyaux, et à faire tourner un cylindre qui met lui-même en jeu divers petits leviers; ceux-ci bouchent et débouchent les tuyaux de l'orgue, et l'on entend tel ou tel air, selon la manière dont la surface du cylindre a été préparée. Il en coûte beaucoup de peine et d'argent pour préparer de tels cylindres, et cepen-

dant il semble qu'on pourrait employer un moyen aussi sûr que commode et peu dispendieux. Serait-il donc impossible de faire tourner un cylindre uni dans un orgue ordinaire pendant qu'on exécuterait tel ou tel morceau, et d'imprimer à sa surface, par un moyen quelconque, toutes les touches de l'organiste le plus habile? Il resterait à implanter à la surface unie de ce cylindre, les pointes et les *ponts* sur les traces qu'il aurait conservées, et de les faire servir ainsi à soulever les petits leviers dont nous avons parlé ci-dessus, et qui débouchent les tuyaux de l'orgue.

Les *cloches* sont souvent réunies en assez grand nombre, et successivement frappées par des marteaux, ce qui produit un *carillon*. Ce genre de musique est fort agréable pour certaines oreilles. — On trouve beaucoup de carillons en Flandre. — Il y a dans le son des cloches quelque chose d'éclatant et de solennel qui en fait un accompagnement très-convenable des cérémonies funéraires.

Le *tamtam des Chinois* participe de la nature de la cloche et de celui du tambour; tout le monde sait que l'éclat et le timbre tout particulier de cet instrument produisent des effets vraiment extraordinaires.—On peut dire qu'il joue un des principaux rôles dans les cérémonies imposantes des Chinois. — A certains jours de fête, au moment où le soleil va se perdre dans l'occident, toute la population de la Chine, c'est à-dire plus de cent millions d'âmes, abandonnent leurs demeures, et sous la voûte des cieux viennent rendre hommage à la Divinité au milieu d'un feu roulant de pièces d'artifice, accompagné par le tonnerre continu des tamtams qui ne cessent de se faire entendre.

Les *cloches* et les *vases* de verre rendent des sons encore plus parfaits que les mêmes instrumens faits de

métal; il suffit de passer un archet, ou même un doigt mouillé, sur leurs bords, pour les faire vibrer; de sorte qu'à l'aide d'un léger frottement on obtient des sons d'une durée indéfinie, qu'on enfle et qu'on diminue à volonté, comme ceux de la voix humaine et ceux du violon. — Un système de verres ou de capsules de porcelaine, convenablement choisis, d'une substance assez homogène pour que le son soit pur et éclatant, ayant un beau timbre et accordés les uns sur les autres, forment ce qu'on appelle un *harmonica;* on obtient assez facilement cet accord en versant dans les verres une certaine quantité d'eau, ce qui fait baisser le ton : cet instrument convient particulièrement à certains genres de musique. Franklin, qui construisit le premier harmonica, avait doublé sur elle-même la longue ligne de verres et disposé les demi-tons sur des rangées particulières; je préférerais la disposition suivante, à laquelle je me suis trouvé conduit en faisant quelques expériences sur le son. — Cet arrangement en *zig-zag* (*fig.* 52), me paraît offrir quelques avantages. — Les petits cercles ouverts représentent l'ouverture des verres placés dans leur boîte *bc;* un seul coup-d'œil suffit pour montrer leur rapport de sons, puisque ces sons correspondent aux notes indiquées sur la portée. —On peut remarquer d'ailleurs que toutes les notes placées *sur* les lignes sont rendues par les verres de la première rangée du côté *ab*, et que toutes celles qui sont *entre* les lignes le sont par les verres de la seconde. Cette observation rend l'artiste à l'instant même maître de l'instrument, sur lequel il exécutera d'autant plus facilement la musique qui lui est propre, que les notes qui se succèdent le plus souvent sont précisément contiguës. Deux octaves, et les *septième* et *quatorzième* bémolisées qu'on voit en *a* et en *c*, et qu'on substitue lorsqu'il est nécessaire aux verres cor-

respondans de la rangée, suffisent pour exécuter la plus grande partie des mélodies simples. — L'artiste se place sur le côté de la boîte représentée dans la figure par *a b*, de sorte que les notes montent de la gauche à la droite, comme dans le piano.

De l'oreille musicale.

Les philosophes ne sont point encore parvenus à expliquer cette différence souvent très-sensible qu'on remarque chez plusieurs individus dans la manière dont ils perçoivent les relations musicales des sons. On rencontre tous les jours des hommes qui, sans avoir jamais reçu aucune notion de la science musicale, saisissent à l'instant même, et sans aucun effort d'attention, les rapports de divers sons entre eux, sentent que telles et telles notes qui résonnent ensemble forment une consonnance ou une dissonance, et introduisent même dans une mélodie qu'on leur fait entendre, une *seconde partie*, une *basse*, un accompagnement, de manière à former une harmonie fort agréable. — Il en est d'autres qui, doués d'ailleurs d'une ouïe très-fine, sont incapables de prononcer sur la justesse d'un accord, et ne distinguent nullement une consonnance d'une dissonance, et pour lesquels un air chanté juste ou faux est toujours un seul et même air. — On dit que les premiers ont l'*oreille musicale*, et que les derniers ne l'ont pas : l'exercice, la culture, un certain apprentissage, ont, sans aucun doute, une grande part dans ces phénomènes; ils peuvent élever la médiocrité, par exemple, à un très-haut degré de sensibilité musicale, mais ils ne peuvent cependant développer cette faculté chez les personnes qui n'en ont point reçu le germe en naissant. — Or, il existe à ce sujet un préjugé révoltant qui devient pour les uns une source d'humiliation fort pénible, et pour les

autres un prétexte d'arrogance tout-à-fait insupportable. Ainsi l'on s'imagine qu'une oreille musicale, qu'une certaine aptitude à saisir des rapports de sons, sont et doivent être liés aux plus brillantes qualités de l'esprit chez ceux qui les possèdent, tandis que les hommes qui sont privés des premières manquent complètement des secondes, et peuvent être regardés comme des êtres d'une race inférieure. Les citations ne manquent pas à l'appui de cette opinion, et celle de Shakespeare revient entre autres assez souvent pour nous dispenser de la reproduire ici.

La vérité est, cependant, qu'un grand nombre de ceux qui se sont fait remarquer par leur talent comme musiciens, manquent de presque toutes les qualités qui commandent le respect et l'admiration des hommes : la faiblesse d'esprit et la débauche s'associent trop souvent avec le génie musical, tandis que la force de caractère, les qualités essentielles, l'imagination, le goût, la raison, ont été l'apanage d'hommes complètement insensibles aux charmes de la musique, bien qu'ils sentissent parfaitement tous les autres genres de beautés.— Combien d'excellens poètes, combien d'hommes célèbres en tous genres n'étaient pas musiciens? saisissaient-ils pour cela moins vivement l'influence de certains rapports, de certaines harmonies? non sans doute, et cependant ce malheureux préjugé qui donne ainsi un brevet d'infériorité générale à quiconque n'est pas doué de cette aptitude à saisir les rapports des sons entre eux, condamne le plus grand nombre de nos jeunes femmes à de véritables travaux forcés, pour acquérir en dépit de la nature cette perfection d'organe qu'elle leur a refusée, et leur fait perdre un temps énorme qu'elles pourraient employer si utilement. Ce n'est encore là qu'une des funestes conséquences de cette singulière

opinion, il en est d'autres non moins déplorables, sur lesquelles nous ne pouvons malheureusement point nous arrêter ici.

La vibration des corps sonores se transmet à travers les solides comme à travers les fluides. (*Voyez* l'analyse.)

Puisque l'air se compose de molécules matérielles maintenues à distance par la répulsion du calorique, il doit nécessairement arriver qu'une impulsion quelconque qu'on imprime à une partie de la masse, se transmette d'une couche à une autre, de celle-ci à une troisième, et ainsi de suite; car la force de répulsion augmente à mesure que ces molécules sont poussées plus près les unes des autres; — d'ailleurs nous savons que dans les fluides toutes les molécules, quoique à distance, s'appuient pour ainsi dire les unes sur les autres, comme si elles étaient liées deux à deux par de petits ressorts qui se débandent en repoussant la seconde lorsqu'on imprime un mouvement à la première : tout mouvement dans une partie quelconque de la masse, devra donc se répandre de tous côtés. C'est ainsi, par exemple, que l'explosion d'une bombe qui éclate dans un lieu déterminé de l'espace, en donnant lieu à la formation subite d'un gaz élastique, ébranle toutes les couches d'air qui l'enveloppent; que celles-ci transmettent à leur tour le mouvement qu'elles ont reçu, mouvement qui en se répandant de proche en proche, donne naissance à des ondes sphériques qui parcourent d'énormes distances.

Bien que dans les liquides et dans les solides les molécules matérielles soient beaucoup plus rapprochées que dans les gaz, elles ne sont point cependant en contact absolu, et un grand nombre de preuves ont été données de ce fait dans la *Mécanique des Solides*; or,

ceci nous explique, d'après ce que nous venons de voir, comment les impulsions qui produisent le son se transmettent dans ces corps aussi bien que dans l'air, et même avec plus de rapidité.

Nous avons déjà montré que l'air transmettait le son, nous ajouterons aux divers exemples cités plus haut, le phénomène des *sons sympathiques :* tout corps élastique étant sonore, c'est-à-dire susceptible d'entrer en vibration lorsqu'on le frappe, et d'accomplir dans un temps donné un nombre d'oscillations qui dépend du poids du corps et de sa forme, il arrivera qu'en ébranlant les couches d'air qui l'avoisinent, qu'en leur communiquant la vitesse d'oscillation que le corps sonore peut prendre et donner, il entrera lui-même immédiatement en vibration, — et son mouvement ou le son qui l'accompagne nécessairement, continuera après que la cause de l'ébranlement aura cessé son action.—C'est ainsi que le piano, dont les cordes sont mises à découvert, *répond* à presque tous les sons que la voix peut produire.— En semant quelques légers morceaux de papier sur ses cordes, on les voit sautiller de l'une à l'autre à mesure que les sons successifs de la voix viennent les ébranler. — De même que le piano, les instrumens à longues cordes, comme la harpe, la guitare, qu'on place dans une chambre où l'on parle un peu haut, mêlent leurs notes à la conversation et résonnent sensiblement à l'unisson et à l'octave des divers interlocuteurs. — Faites résonner un verre à pied, puis cherchez sur un violoncelle la note qui y correspond, et faites-le résonner avec quelque force au moyen de l'archet, vous entendrez le verre vibrer très-distinctement; il peut même arriver qu'en plaçant ce verre sur le bord de la table, vous parveniez à le renverser.

Les corps sonores vibrent avec beaucoup plus de ra-

pidité dans l'hydrogène que dans l'air atmosphérique, et plus rapidement dans celui-ci que dans les gaz plus denses; et ce résultat n'a rien de surprenant, puisque la résistance que le corps éprouve à se mouvoir augmente avec la densité des substances dans lesquelles il plonge. Le ton du corps sonore s'élèvera donc du grave à l'aigu, en passant d'un milieu plus dense dans un milieu qui l'est moins, et réciproquement. — Voilà pourquoi la cloche qu'on ébranle sous l'eau produit un son beaucoup plus grave que dans l'air.

Ce dernier fait prouve en même temps que l'eau transmet le son comme l'air. — D'ailleurs, n'entend-on point très-distinctement les coups de marteaux des ouvriers qui travaillent autour de la cloche à plonger? — Ne sait-on pas que les poissons ont l'ouïe extrêmement fine? —etc....

Mais le son se transmet aussi par les corps solides. — Si l'on place l'oreille contre l'extrémité d'une longue pièce de bois de vingt, trente, quarante pieds, pendant qu'une autre personne grattera légèrement l'extrémité opposée avec la pointe d'une épingle, on entendra parfaitement le son produit par le frottement de l'épingle, qui se transmettra à travers toute la masse solide, quand bien même il serait assez faible pour que la personne qui produit ce léger bruit ne l'entendît pas elle-même. — Les sauvages guettent leur proie ou se mettent en garde contre leurs ennemis, en appliquant l'oreille contre la terre, qui leur transmet fidèlement le bruit des pas de l'homme et des animaux. — On emploie souvent ce moyen aux armées pour s'assurer de l'approche de la cavalerie pendant la nuit. — Le bruit du canon qu'on tire sur la glace se transmet à travers le solide à une distance beaucoup plus grande que par l'air. — Lorsqu'on creuse un passage souterrain vers une citadelle,

afin d'y placer de la poudre et de la faire sauter, ce qu'on appelle *miner une place*, les plus grandes précautions sont nécessaires pour que le bruit des travailleurs ne se transmette point aux assiégés... — Ce grondement terrible qui se fait entendre durant les tremblemens de terre, n'est autre chose que le bruit d'explosions souterraines, qui nous parvient d'énormes distances à travers les couches solides du globe.

Les petites boîtes connues sous le nom de *tabatières à musique*, sont à peine entendues de celui qui les tient à la main; elles produisent au contraire les effets d'une petite harpe quand on les presse contre une table ou une porte : la vibration de la petite boîte se transmet alors à toute la masse, et une aussi grande surface entrant en vibration, ébranle une plus grande quantité d'air et augmente considérablement l'effet. — Cette loi trouve son application dans la construction des violons, des harpes, des guitares, etc., des tables sonores en général. — Le petit violon du maître de danse, qu'on appelle *sa pochette*, est monté avec les mêmes cordes et joué avec le même archet que le violon; il n'a cependant qu'un son très-faible, et cela parce que sa surface est relativement peu considérable. — Lorsqu'on dispose sur le chevalet d'un violon cette lourde pièce de métal qu'on appelle une *sourdine*, le son diminue d'intensité, parce que cette masse inerte s'oppose au mouvement de la table sonore et élastique sur laquelle les cordes sont tendues.

On peut mettre à profit cette propriété dont jouissent les solides, de transmettre le son pour s'assurer si l'eau d'une bouilloire est portée à l'ébullition, et cela sans l'ouvrir, c'est-à-dire sans courir le risque de se brûler les doigts; il suffit de mettre la partie supérieure du couvercle en communication avec l'oreille, à l'aide

d'un bâton ou du fourgon qui sert à remuer le combustible; si l'eau bout on entend un bruit presque aussi fort que celui d'une voiture qui roule sur le pavé. — Placez contre l'oreille l'extrémité d'une tringle de métal, et faites-la heurter très-légèrement par son autre extrémité contre un corps dur, vous entendrez un son tellement fort qu'il est pénible pour l'oreille.

Un homme superstitieux logeait, depuis long-temps, dans une chambre située à un étage très-élevé; rien ne l'effrayait pendant le jour, mais à peine était-il couché qu'un battement singulier venait frapper son oreille; ce bruit semblait partir de la tête même de son lit. Après bien des recherches et des perquisitions faites dans les chambres voisines, et qui ne lui apprirent rien, il commença à s'inquiéter vivement, et persuadé que c'était un des tours du malin esprit, il se disposa à quitter son logement. — Le hasard cependant ne tarda pas à le rassurer, car on découvrit quelques jours après, dans un cellier situé au bas de la muraille principale, une horloge de bois qui y était suspendue, et il fut facile de vérifier que les battemens du pendule se transmettaient par cette énorme muraille et par les poteaux du lit, jusqu'à la tête du pauvre homme.

On a fait assez récemment une application fort intéressante de cette facilité avec laquelle les corps solides transmettent le son; le docteur Laennec, de Paris, proposa, il y a quelques années, de s'assurer de ce qui se passait à l'intérieur du corps et de la poitrine en particulier, en appliquant contre la surface extérieure une des extrémités d'un cylindre de bois, l'autre base du cylindre étant placée contre l'oreille. — On a donné à cet instrument le nom de *stéthoscope*, qui veut dire: *inspecteur de la poitrine;* cette heureuse idée a conduit à des résultats fort importans.

Les actions physiologiques qui se passent dans la cavité du thorax se rapportent à des fonctions importantes, à la respiration, au mouvement du sang dans le cœur et les vaisseaux, aux phénomènes de la voix. Or, ces diverses actions deviennent, à l'aide du stéthoscope, tellement sensibles, que l'oreille familiarisée d'avance avec les sons qu'on entend dans l'état normal, distingue immédiatement toute déviation à cet état. — Voilà donc un moyen presqu'aussi commode de s'assurer de l'existence de quelques-unes des maladies de la poitrine, que si cette partie était ouverte, et se prêtait à une inspection visuelle; et si l'on considère qu'un cinquième environ de la population européenne est emportée par des inflammations, des abcès, des consomptions, des hydropisies, des anévrismes, des affections diverses du cœur ou des vaisseaux, maladies qui exigent chacune un traitement convenable, on pourra prendre une idée de la haute importance de cette application des sciences à l'art médical. — Je n'ignore point qu'un grand nombre de médecins ont, dans l'origine, regardé le stéthoscope et son emploi comme des rêveries ridicules, que d'autres ont traité cette découverte de charlatanisme; que d'autres enfin en sont encore à ignorer l'usage de cet instrument; mais d'où cela vient-il? Probablement de l'ignorance dans laquelle persistent tant de praticiens, et de ce que l'éducation médicale ne comprend pas l'étude des lois générales de la philosophie naturelle, qui leur permettrait cependant d'apprécier à leur juste valeur les méthodes et les instrumens que les progrès des autres sciences amènent.

* *Vitesse du son.* * (*Voyez* l'Analyse.)

La vitesse de la lumière est tellement grande, que pour toutes les distances terrestres on peut regarder son passage comme instantané; celle du son est infiniment

moindre. — On voit long-temps avant d'entendre le coup la coignée du bûcheron frapper l'arbre qu'il cherche à abattre. — La lumière d'une arme à feu s'aperçoit d'une grande distance long-temps avant qu'on entende le bruit de l'explosion.

Des expériences faites avec un soin extrême ont donné pour la vitesse du son dans les régions inférieures de l'atmosphère 174.9 toises, ou 340^{m}88 par seconde, à la température de 16 degrés centigrades. — Elle varie légèrement avec la densité et la température de l'air (1).

Il suffit donc de compter le nombre de secondes qui s'écoulent entre l'apparition de la lumière d'un canon et l'instant où le bruit de l'arme vient frapper l'oreille pour connaître avec assez d'approximation les distances d'une batterie ou d'un navire à la mer; en évaluant les distances en lieues marines de 20 au degré, on trouverait $\frac{1}{4}$ de lieue pour 4 secondes, ce qu'il est bon de se rappeler, et même facile, puisqu'un même nombre 4 entre dans ce rapport. — Un vaisseau qui en chasse un autre peut ainsi juger facilement s'il s'en approche ou s'en éloigne. — On peut encore déterminer la distance d'une nuée orageuse en comptant le temps qui s'écoule entre

(1) On obtient la vitesse V pour une température donnée t, à l'aide de la relation suivante :

$$V = 327^{m}.52\ V\ (1 + 0.00375\ t)$$

On trouverait par exemple pour la vitesse :

		m.
à	— 10 degrés	321.32
à	0	327.52
à	10 degrés	333.61
à	20	339.58
Etc.		Etc. . . .

résultats qui diffèrent un peu de ceux donnés par l'expérience, ce qu'il est permis d'attribuer aux erreurs d'observation.

(*Note du traducteur.*)

l'éclair et le coup. — Et ce qui fait que le bruit du tonnerre est un long roulement continu, bien que l'éclair sillonne instantanément une suite de nuages de plusieurs milles de longueur, c'est qu'il y a des interruptions, des solutions de continuité dans la chaîne de nuages, ce qui fait que les sons n'arrivent alors que successivement. — Du reste, il existe un moyen très-simple de déterminer le temps qui s'écoule dans toutes ces expériences, il suffit pour cela de compter les battemens du pouls, si toutefois l'on n'éprouve point dans ce moment une agitation qui puisse l'accélérer. — L'intervalle de deux battemens consécutifs est, à très-peu près, une seconde ; quatre intervalles correspondent donc à environ un quart de lieue marine.

Lorsqu'un régiment tout entier fait feu à la fois, il n'y a guère que l'observateur qui est placé à une certaine distance en face du centre qui entende un seul et unique coup; quelqu'ensemble qu'il puisse y avoir dans les manœuvres, il est impossible que l'officier placé à quelque distance, à droite ou à gauche sur la ligne de bataille, n'entende point une espèce de feu de file, et il y aurait précisément une seconde d'intervalle entre le dernier coup et le premier d'une ligne qui aurait 340 mètres de longueur.

Il ne peut être absolument indifférent de se placer dans telle ou telle situation par rapport à un grand orchestre pour bien jouir de l'ensemble, et l'on conçoit que si tous les musiciens étaient rangés en cercle, il n'y aurait de place réellement bonne pour l'auditeur que le centre même de ce cercle.

De même qu'un courant de l'Océan affecte le mouvement d'un navire qui fait voile, le vent a une certaine influence sur la vitesse du son. Cet effet est surtout très-remarquable pendant les nuits orageuses, le vent

alors accélère ou retarde très-sensiblement le son des cloches qu'on entend dans le lointain.

Le son décroît d'intensité à partir du point où il a pris naissance, et cela suivant la même loi que le décroissement d'intensité de la lumière. (*Voyez* premier volume), c'est-à dire que pour une distance double, son intensité n'est plus qu'un quart de ce qu'elle était; pour une distance triple, un neuvième seulement, et ainsi de suite. — Ce qu'on exprime par cette loi : *L'intensité du son décroît en raison inverse du carré des distances.*

Cependant, en prévenant sa dispersion, en le *renfermant* dans des tuyaux, par exemple, son intensité diminue beaucoup moins rapidement, et il se transmet dès-lors à des distances beaucoup plus considérables. — On remarque aujourd'hui dans un grand nombre de manufactures, et même dans quelques maisons particulières, des systèmes de tuyaux qui vont se ramifier dans toutes les parties du bâtiment; au son d'une cloche, ouvriers ou domestiques prêtent l'oreille, et les ordres se transmettent ainsi avec la plus grande promptitude, et sans le plus petit dérangement.

La vitesse du son dans l'eau est environ quatre fois aussi grande que dans l'air, et de dix à vingt fois aussi grande dans les solides; ainsi la vitesse dans l'eau est de 1453 mètres par seconde, à la température de 10 degrés; elle est pour la même température de 1484 mètres dans le mercure; de 2550 mètres dans l'étain; de 3060 dans l'argent; de 3624 dans le noyer, le laiton et le chêne; de 4080 dans le cuivre rouge; de 4896 dans l'acajou, l'ébène, le charme, l'orme, l'aune, le bouleau; de 5100 dans le tilleul et le cerisier: de 5440 dans le saule et le pin; de 5664 dans le fer, l'acier et le verre; de 6180 mètres dans le sapin, c'est-à-dire 18 fois aussi grande que dans l'air.—Si en appli-

quant l'oreille contre une muraille, on fait frapper cette muraille avec un marteau, à une assez grande distance, on entendra deux coups distincts ; le premier, transmis par la muraille, et le second, qui se fera un peu attendre, par l'air.

* *De la réflexion des sons.* * (*Voyez* l'Analyse.)

De même qu'à la surface d'un liquide une ondulation qui rencontre un obstacle, rebrousse et semble partir d'un centre situé autant au-delà de l'obstacle, que le centre réel est en-deçà (page 252). — De même, les ondulations, ou vagues sonores, se réfléchissent contre les surfaces planes qu'elles rencontrent, et produisent les phénomènes connus sous le nom d'*écho*. Les ouvrages de la nature présentent de telles surfaces, surtout parmi les rocs et les contrées montagneuses, et c'est sans aucun doute ce qui a donné naissance à cette charmante fiction des anciens poètes qui fixèrent parmi les rochers la résidence de cette nymphe Echo, si sauvage et si fugitive ; il n'était donné qu'à la science de découvrir sa véritable retraite. — Mais qui de nos lecteurs ne se rappelle encore le plaisir, mêlé de surprise, qu'il éprouva dans sa jeunesse à entendre le cri aigu que lui renvoyait quelque vieux château inhabité, quelque rocher de sa terre natale, ou même le dôme immense qui recouvre les cavernes de l'Océan !

L'intervalle qui sépare l'écho du son primitif dépend évidemment de la distance de la surface de réflexion ; on voit qu'il s'écoulera précisément une seconde entre le son et l'écho, si cette surface est située à une distance de $\frac{340}{2}$ mètres, ou 170 ; si l'intervalle était de 2 secondes, c'est que la surface de réflexion serait située à 340 mètres, et ainsi de suite. — Voilà donc encore un moyen

de mesurer les distances dans quelques circonstances; la largeur d'une rivière, par exemple, si quelque surface de réflexion se trouve sur l'autre rive. — Si la surface de réflexion était située à 170 mètres, il est clair qu'elle renverrait sans confusion toutes les syllabes qu'on pourrait proférer en une seconde, mais que si l'on en prononçait quelques-unes de plus, elles se mêleraient à l'instant même avec les premières, qui seraient alors sur le retour. — Le flanc perpendiculaire d'une montagne, les rocs sublimes qui bordent presque partout les côtes de l'Angleterre, renvoient à plusieurs milles de distance le bruit de l'artillerie et le grondement du tonnerre.

Entre deux rocs ou deux murailles parallèles, le son se répercute de l'une à l'autre, comme le ferait un corps élastique lancé sous un angle aigu contre l'une d'elles; mais il s'affaiblit de plus en plus à chaque réflexion, jusqu'à ce qu'il devienne complètement imperceptible. — Dans quelques localités, celle, par exemple, où le son se joue au-dessus de la surface d'un lac, on peut compter jusqu'à quarante fois le bruit de la décharge d'un pistolet.

La résonnance de certaines salles dépend de cette réverbération continue; elle augmente souvent l'effet de la musique, et change quelquefois une simple mélodie en une harmonie réelle. — Les pièces de musique connues sous le nom de *canons*, se prêtent quelquefois assez bien à ce genre d'effet; l'élève qui s'essaie sur la flûte est souvent tout charmé du duo qu'il joue ainsi avec l'écho, sous l'arche d'un pont ou dans une grotte champêtre.

Cependant cette résonnance est souvent aussi fort gênante : elle embrouille complètement le discours dans quelques salles d'assemblées, et même dans quelques

théâtres mal construits, où elle rend le chant des acteurs tout-à-fait inintelligible.

Il est digne de remarque qu'il n'est point de chambre ou d'espace limité qui ne rende une certaine note particulière dépendante du nombre de pulsations ou de répétitions, dans un temps donné, du son primitif qui va se réfléchir sur les murailles. La vitesse du son étant uniforme, ce nombre dépend lui-même des dimensions de la salle.

L'écho produit un effet fort singulier que nous allons faire connaître, et qui non-seulement fera mieux comprendre la nature de ce phénomène, mais montrera d'une manière assez curieuse qu'un ton ou un son musical n'est autre chose qu'une succession de battemens très-rapides. — Les grilles de fer se composent ordinairement de prismes à bases quarrées, dont par conséquent chacune des faces est plane et peut produire un écho : si donc en se plaçant à droite de cette grille, et à une certaine distance de son extrémité, on frappe quelque corps dur avec un marteau, l'onde sonore ira se réfléchir contre la première barre, et si elle venait de la droite, comme nous le supposons, l'écho en sera entendu par l'observateur qui sera situé vers la gauche; mais la seconde barre produira le même effet, et cela un peu plus tard, puisqu'elle est plus distante; de même pour la troisième, pour la quatrième, et ainsi de suite. Les échos vont donc *se succéder* pour l'observateur de gauche avec une régularité parfaite et une rapidité qui dépendra de la distance des barres entre elles. —Or, cette série de pulsations régulières ne peut affecter l'oreille comme l'écho d'un seul et unique coup; il se forme en effet un véritable son musical, dont le degré d'acuité dépend, comme on peut s'en assurer, du rapprochement des barres de la grille.

Pour qu'un écho soit parfait, il est nécessaire que la surface de réflexion soit ou plane ou de quelque forme régulière; car les ondulations sonores se comportent à la manière des ondulations liquides et des ondulations lumineuses, c'est-à-dire qu'elles suivent dans leur réflexion la loi des corps élastiques (voy. *Mécanique des Solides*); si elles tombent perpendiculairement, elles sont renvoyées perpendiculairement; si elles tombent sous un certain degré d'obliquité, en s'approchant de la surface de réflexion par la droite, elles s'éloigneront de cette surface, après le contact, par la gauche, et sous le même degré d'obliquité; ce qui s'exprime d'une manière très-simple, en disant que « l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. » — Il résulte de cette loi qu'une surface irrégulière brisera nécessairement l'écho, et que si l'irrégularité est très-sensible, la réflexion ne pourra point être perçue. — Tout au contraire, une surface régulièrement concave, comme *e g* (*fig.* 53), concentrera les sons et pourra même renvoyer tous ceux qui viennent la frapper, *a b c d*, en un seul et unique point *f*, où leur réunion produira un effet très-remarquable. — Le point *f* se nomme le foyer de la courbe.

Ceci nous explique pourquoi l'écho qui se forme sur la façade d'une maison, toujours percée de portes et de fenêtres, est si imparfait, tandis qu'on obtient des effets très-sensibles d'une muraille unie de la même dimension; — pourquoi une chambre vide résonne beaucoup mieux qu'une chambre meublée, dans laquelle le son va se perdre sur les rideaux, les tapis, les meubles. — Dans les petites chambres, cet écho est presqu'imperceptible, parce que la vitesse du son est trop grande pour qu'il s'écoule un temps sensible entre le son primitif et son retour à l'oreille; le son primitif et

l'écho s'y confondent. — Lorsque la chambre est grande, l'écho est presqu'inévitable, et cela devient même fort gênant dans les salles de concert et les théâtres; le meilleur moyen qu'on puisse employer pour remédier à cet inconvénient, consiste à briser les surfaces réfléchissantes, à les dépolir par des moulures et des ornemens.

La concentration des sons par les surfaces concaves produit un grand nombre d'effets très-curieux que l'on peut remarquer dans les travaux de la nature et des arts.

Dans certaines localités, par exemple, le bruit d'une cascade se réfléchit contre les murs concaves d'une caverne voisine, et cela si parfaitement, que celui qui, en les visitant, vient par hasard placer son oreille *au foyer*, s'imagine un moment que l'univers entier s'écroule; — un siége disposé dans la caverne de telle sorte que celui qui s'y assied place nécessairement son oreille en ce point, assure le succès de cette expérience souvent très-plaisante.

Le centre d'un cercle est le foyer dans lequel les sons émanés de ce centre se réunissent après la réflexion; — de là l'écho très-remarquable qu'on obtient au centre des chambres cylindriques. — L'ovale ou ellipse (*fig.* 54) a deux foyers *a* et *b*, et la nature de la courbe est telle que les rayons sonores, lumineux ou calorifiques qui émanent d'un des foyers *a* par exemple, vont tous se concentrer après la réflexion en *c d e*, précisément dans l'autre foyer *b*. Ainsi, dans une chambre elliptique, la personne qui chuchotterait au point *a* serait très-distinctement entendue par celle qui se tiendrait l'oreille fixée en *b*, et ne le serait point par toutes celles qui seraient situées dans toute autre partie de la chambre. On appelle de telles chambres des *galeries parlantes*. — Deux

surfaces concaves qui se feraient face pourraient reproduire les mêmes phénomènes, et par les mêmes lois. Ainsi, les niches établies à droite et à gauche du pont de Westminster, à Londres, et probablement celles du Pont-Neuf, à Paris, donnent lieu à ce genre d'effets; ce sont de demi-cylindres surmontés par des quarts de sphère. Si l'on se place au foyer de ces surfaces et qu'on y parle à voix basse, les paroles se transmettent très-distinctement au foyer de la niche en face, sans que d'ailleurs elles puissent être entendues par les personnes situées entre les interlocuteurs, sans même être affaiblies sensiblement par les bruits divers qui peuvent avoir lieu dans l'espace qui les sépare.

Ce qui fait qu'un tube est un excellent appareil pour porter au loin le son, c'est que ses parois intérieures, en s'opposant à la dispersion des ondes sonores, les réfléchissent continuellement, et les portent ainsi d'une extrémité du tube à l'autre; — et ce qui fait que les surfaces planes, comme celle d'un mur, par exemple, ou celle d'un lac, portent le son à des distances assez grandes, c'est qu'elles empêchent sa dispersion, de même que le tube, mais d'un côté seulement. — Deux personnes assez distantes peuvent entretenir à voix basse une conversation dans un appartement, en se rapprochant d'une des murailles, si elle est plane, non brisée par des ornemens ou par la saillie des meubles. — La voix claire et élevée des hommes qui colportent leurs marchandises dans les rues a été entendue à plus de cinq milles de distance pendant une soirée calme, et de l'autre côté d'un lac tranquille. — Le son des cloches est perceptible à une distance beaucoup plus grande dans les mêmes circonstances; — et souvent pendant le calme de la nuit, le bruit des rames qui s'enfoncent

dans l'eau a décélé d'une distance considérable l'arrivée d'un bateau qu'on attendait.

Si la surface de réflexion est courbée intérieurement, c'est-à-dire si elle est concave au son primitif, non-seulement elle prévient la dispersion, mais elle réfléchit les ondes sonores, en les repoussant constamment à l'intérieur de la courbe. Il en résulte que dans un espace circulaire, telle qu'une galerie à la base d'une coupole, deux personnes, en se serrant contre la muraille, peuvent lier une conversation à voix basse à quelque distance qu'elles se placent l'une de l'autre.

Le cornet acoustique employé par les personnes sourdes, est un tube élargi par une de ses extrémités et retréci par l'autre, qu'on place contre l'oreille; ses parois intérieures ont reçu la courbure la plus propre à recueillir les rayons sonores qui s'y réfléchissent et se réunissent sur l'axe du cornet en un foyer situé du côté de l'oreille, en beaucoup plus grand nombre que si on les eût laissés se disperser; — l'intensité du son est assez considérablement augmentée pour que ceux à qui, sans cet instrument, il serait refusé d'entendre une conversation ordinaire, puissent encore par son assistance trouver du plaisir dans la société de leurs semblables; — la concavité de la main placée derrière l'oreille fait en partie l'effet d'un cornet acoustique, et cette précaution est souvent fort utile dans les grands théâtres pour les personnes même dont l'ouïe est très-fine. — L'histoire nous a laissé un exemple célèbre d'instrument acoustique établi par un infame tyran dans les donjons de Syracuse, et qu'on appelait l'*oreille de Denis*. Le toit de la prison avait reçu une forme convenable pour recueillir les paroles et même les légers murmures des malheureuses victimes qui y étaient renfermées; ils se dirigeaient ensuite, à travers un conduit caché, jusqu'à l'oreille du

tyran ; — c'était un véritable cornet acoustique, d'une très-grande dimension. — La voile étendue d'un navire, rendue concave par une légère brise, est un très-bon collecteur de sons. — Il arriva un jour, à bord d'un vaisseau qui se trouvait à une centaine de milles de la côte du Brésil, que les hommes qui marchaient sur le pont entendaient très-distinctement en un certain lieu particulier un carillon de cloches qui paraissaient sonner comme pour une fête publique. Étonné de ce phénomène mystérieux et inexplicable, chacun vint écouter à son tour et se convaincre de la réalité du fait. Quelques mois après il fut constaté que le jour même où cette observation avait été faite, toutes les cloches de la ville de San-Salvador, située sur la côte, avaient été mises en branle à l'occasion d'une réjouissance publique. — Leurs ondulations, favorisées par une légère brise, avaient donc fait un trajet de cent milles à la surface de l'Océan pour se réfléchir ensuite contre la voile qui en réunissait tous les élémens dans le point où elles furent entendues. — Il paraîtrait qu'il ne serait point impossible de construire une machine qui serait pour le son ce que le télescope est pour la lumière.

Le *porte-voix* est encore un instrument construit sur les principes de la réflexion du son, et à l'aide duquel on dirige toute la force de la voix dans une direction particulière ; — le capitaine de navire en fait un usage continuel pour transmettre ses ordres *en haut*, où sa seule voix viendrait se perdre au milieu du bruit causé par le vent et les vagues. — Il sert encore *à héler* les vaisseaux à distance. — L'extrémité inférieure de la trompette, ou ce qu'on appelle son pavillon, est évasé dans le même but, c'est-à-dire pour qu'elle puisse faire entendre les ordres qu'elle est chargée de transmettre au milieu du fracas des combattans.

On est parvenu, à l'aide de tubes et de surfaces concaves, à produire quelques effets fort amusans. — Ce qu'on connaît sous le nom de *jeu de la fille invisible* est un appareil de ce genre, au moyen duquel les questions qu'on adresse sont réfléchies par une surface concave et portées à l'être invisible qui est chargé d'y répondre, et qui n'est autre chose que ce qu'on appelle *un compère;* les réponses de celui-ci reviennent de la même manière que dans une galerie parlante, et le questionneur seul peut les entendre (1).

La surface concave, ondulée, et si parfaitement polie de la plupart des coquillages marins, les rend très-propres à concentrer les ondes sonores qui se meuvent dans le milieu, où ils sont plongés; de là ce bruit continu qui se fait entendre lorsqu'on les applique contre l'oreille, bruit qui rappelle le murmure lointain des vagues de l'Océan, et qui fait dire au peuple que ces coquillages cherchent ainsi à décéler leur origine. — L'illusion produite par ce murmure est si complète, que l'écolier, ému par les récits de ces hardis navigateurs qui ont bravement exposé leurs vies pour les recherches de la science, et brûlant de les imiter à son tour, nourrit d'avance sa jeune imagination de cette voix de la coquille qui, dans sa noble impatience, le transporte pour un moment sur les vagues; — il les voit blanchir dans le lointain, — il les entend mugir à ses pieds, — il se sent doucement soulever par le vaisseau qui le porte à pleines voiles vers des régions lointaines; — le soleil brille de tout son éclat, — il entrevoit une nou-

(1) J'ai donné une description complète et accompagnée de figures, de ce petit appareil dans *la Science enseignée par les Jeux*, ou *Théorie scientifique des Jeux les plus usuels*, 2 vol. in-18. — Roret.
(*Note du traducteur.*)

velle nature, des bois épais, des oiseaux parés des couleurs les plus brillantes... Hélas! la cloche sonne, c'est Virgile ou Horace qui vient le rejeter de quelques siècles en arrière.

L'Oreille humaine,

si admirablement disposée pour percevoir tous les mouvemens vibratils de l'air et des corps sonores, doit présenter dans sa structure des relations avec ces mouvemens qu'il est intéressant d'étudier, au moins d'une manière générale. Examinons donc les principales parties de l'organe de l'ouïe; et suivons les progrès du son jusqu'au nerf acoustique.

1. L'oreille externe (*fig.* 55) se compose d'un véritable cornet acoustique, formé d'une conque *a*, appelée *pavillon*, et destinée à recueillir et à concentrer les rayons sonores. Ce pavillon est mobile dans un grand nombre d'animaux; de sorte qu'ils peuvent le diriger du côté d'où vient le son.

2. Le son concentré dans le fond du conduit auditif frappe une membrane tendue, comme l'est, par exemple, la peau d'un tambour ordinaire, et la fait entrer en vibration. Cette membrane *b* s'appelle *membrane du tympan;* — afin que ce mouvement vibratil s'opère plus facilement, l'air contenu dans la cavité du tympan est en libre communication avec l'air extérieur par le passage ouvert *f*, qui se rend vers la partie postérieure de la bouche, et qu'on appelle *trompe d'Eustache.* L'occlusion de ce tube, par de la cire, par exemple, amène un certain degré de surdité qui cesse à l'instant même où par quelques efforts, par un éternuement ou de toute autre manière, l'obstruction disparaît; on entend alors un bruit soudain qui annonce le retour de l'audition.

3. Les vibrations de la membrane du tympan se transmettent intérieurement par une chaîne composée de quatre osselets, et qui s'étend de son centre à la porte ou *fenêtre ovale* du labyrinthe *e*.

4. Le labyrinthe, ou le compartiment le plus interne de l'oreille sur lequel le nerf qui sert à l'audition vient s'épanouir, est rempli de liquide; de sorte qu'en vertu du principe de l'égalité de pression, toute la force de la membrane mobile du tympan agissant à l'aide de la chaîne des osselets, se transmet au liquide et se répartit également et au même instant sur tous les points de la cavité, précisément comme dans le mécanisme de la presse hydraulique; — le labyrinthe se compose du *vestibule e*, des trois *canaux demi-circulaires c*, s'implantant dans un os dur qu'on appelle le rocher, et d'une cavité serpentante *d*, appelée *le limaçon* à cause de sa forme, et en travers de laquelle des fibres sont tendues à la manière des cordes de harpe; ce qui constitue la *lyre*. — On ne connaît encore qu'imparfaitement l'usage de ces diverses parties; ce qu'il y a de certain, c'est que la membrane du tympan qui paraît si nécessaire à l'audition, peut être percée sans qu'il en résulte perte du sens; la lésion même de la chaîne des osselets ne l'entraîne point nécessairement; — l'os qui renferme les cavités de l'oreille est le plus dur de tous les os du corps, et c'est aussi le premier formé; du reste, l'oreille présente une grande diversité de formes et de dimensions chez les différens animaux.

L'oreille juge très-bien de la direction suivant laquelle le son lui parvient, — et l'on remarque que les chevaux et les mules qui voyagent de compagnie pendant la nuit, veillent à la sûreté de la troupe, comme si ces animaux étaient convenus entre eux de leurs différens

services; — ainsi, ceux qui marchent les premiers tournent les oreilles en avant, les derniers les dirigent en arrière, et ceux du centre les portent de côté.

L'intensité du son est encore pour l'oreille un indice de la distance des corps qui le produisent; — lorsque le vent souffle avec une certaine violence pendant la nuit, le son lointain des cloches se transmet avec une rapidité et une force telles que son éclat extraordinaire et sa proximité apparente réveillent souvent le dormeur en sursaut et le forcent à prêter l'oreille. — Dans la saison où les vents d'orage, en soufflant sur les côtes, poussent au milieu des rocs qui les bordent ou sur des plages étendues les vagues amoncelées de l'Océan, le paysan qui vit au loin dans l'intérieur des terres entend quelquefois un tel rugissement qu'il lui semble voir la mer renversant ses limites et se précipitant sur ses champs et ses prairies. — Lorsque dans nos théâtres on cherche à donner aux spectateurs l'idée d'une procession qui s'approche, on augmente beaucoup l'illusion en commençant d'abord par un accompagnement très-faible et qui va augmentant de force de plus en plus, jusqu'à ce qu'un éclat bruyant de trompettes et de tambours, sur le devant de la scène, nous prépare à son apparition; il n'y avait peut-être point de moyen plus parfait de tirer parti de la disposition de l'auditoire à se laisser aller aux rêveries de son imagination. — C'est encore l'intensité si variable du son dans les accords de la *harpe éolienne* qui nous fait entrevoir ce chœur céleste tantôt se rapprochant et tantôt s'éloignant de nous.

MÉCANIQUE
ANIMALE ET MÉDICALE

DEUXIÈME PARTIE.

SECTION CINQUIÈME.

DE LA FLUIDITÉ DANS SES RAPPORTS AVEC LES ANIMAUX.

Les sections précédentes nous ont offert l'occasion de présenter, comme exemples ou développemens des diverses lois de la mécanique des fluides, quelques phénomènes généraux de l'économie animale; mais ces intéressans phénomènes sont tellement nombreux et variés qu'il est indispensable d'en faire une étude spéciale: tel est le but de cette dernière section de la Mécanique des Fluides.—Nous les classerons sous les quatre grandes divisions suivantes :

1° De la circulation du sang;
2° De la respiration et de la phonation;
3° De la digestion;
4° Phénomènes de la région pelvienne.

Il n'est peut-être point inutile de prévenir le lecteur que cette section ne peut être entendue que par ceux qui auront bien compris les sections précédentes.— Du reste, quoique plus particulièrement utile aux médecins, cette partie sera intelligible pour nos autres classes de lecteurs, et nous éviterons, autant que possible, d'employer des mots techniques que nous n'aurions point définis.

Digitized by Google

DE LA CIRCULATION DU SANG.

La découverte de la circulation du sang est un point capital de l'histoire des sciences, et peut-être quelques-uns de nos lecteurs s'étonneront-ils que cette découverte ne remonte qu'à deux siècles de date. — L'Angleterre réclame comme un de ses titres de gloire d'avoir donné le jour à l'homme dont la haute intelligence arracha ce secret à la nature, et mit dans tout son jour une vérité si importante; tâche difficile, en effet, si l'on considère que les apparences n'étaient nullement propres à la faire pressentir, et que les préjugés les plus fortement enracinés s'opposaient à ce qu'elle fût admise. Il fallut bien se rendre à l'évidence cependant, lorsqu'en 1619 le docteur Harvey en publia les preuves. — Que le lecteur s'efforce d'imaginer ce que pouvait être l'art de la médecine à une époque où l'on ne tenait point compte d'un fait aussi important, et sans lequel il est absolument impossible de raisonner tant soit peu sensément sur les phénomènes vitaux, et il aura un aperçu de ce que les anciens ouvrages de médecine peuvent renfermer en absurdités, en inutiles essais, en vains efforts pour torturer la raison humaine, et la faire avorter de théories plus ou moins ridicules, mais toujours entachées d'une erreur fondamentale. — On peut mettre au premier rang, parmi les obstacles qui s'opposaient à la découverte de la circulation, ce fait singulier décélé par l'examen des cadavres, que les artères, après la mort, sont toujours vides de sang. — C'est même à ce phénomène que ces vaisseaux doivent le nom qu'ils portent : *Artères*, en effet, ne signifie que *tubes à air;* canaux qui *conservent l'air.*

De même que l'eau, cette substance si nécessaire à tous nos besoins, se distribue dans l'intérieur des grandes

villes à travers un système de tuyaux qui vont, en se ramifiant, dans tous les quartiers et dans toutes les maisons y déverser leur contenu pour qu'il y soit employé à tels ou tels usages; de même qu'après avoir servi chez le teinturier, le tanneur, etc., elle s'échappe par un autre système de canaux, qui la reporte au grand laboratoire de la nature pour y être purifiée; de même à peu près, dans le corps humain, le sang part d'un centre de vie et de mouvement pour se répandre à travers les artères, porte dans toutes les parties son action bienfaisante; puis, après avoir fourni au foie, aux reins, à l'estomac et aux autres viscères les matériaux à sécréter, revient par les veines vers le cœur et les poumons, pour s'y purifier, s'y refaire, et repartir de nouveau pour parcourir sans cesse le même cercle.

Cette figure, déjà employée ci-dessus, donne une idée générale du phénomène de la circulation; décrivons-le avec un peu plus de détail. — De la chambre gauche ou *ventricule* de cette forte masse musculaire, qu'on appelle *le cœur*, s'élève un large tube, l'*aorte*, qui, par des divisions et des ramifications multipliées ouvre au sang *écarlate* une route jusqu'aux plus petites particules de la masse vivante; — L'extrême petitesse des derniers ramuscules de ce tube est telle, qu'ils ont reçu le nom de *capillaires*, c'est-à-dire, tubes ayant le diamètre des cheveux. — Parvenu à l'extrémité de ces vaisseaux, le sang après avoir accompli ses fonctions, qui ont pour but la nutrition, l'alimentation des diverses parties, etc., qui lui ont fait perdre sa couleur écarlate, est saisi par les *veines*, ou canaux de retour, qui, se réunissant successivement, de manière à constituer des troncs de plus en plus gros, à mesure qu'ils se rapprochent du cœur, lui ouvrent un passage jusqu'au *ventricule* droit, où il arrive privé des qualités qu'il avait en par-

tant. On peut considérer les systèmes artériels et veineux du corps humain comme des *arbres jumeaux*, — *l'écarlate* et *le pourpre*, — ayant des branches correspondantes, et dont les troncs se réunissent au cœur, après s'être réunies complètement à leurs extrémités, de sorte qu'ils forment ainsi un canal circulaire et continu. La racine de l'arbre veineux par laquelle le sang passe du ventricule droit du cœur aux poumons, s'appelle *l'artère pulmonaire*, et celle de l'arbre artériel par laquelle le sang revient au ventricule gauche, se nomme la *veine pulmonaire*. L'une et l'autre se ramifient dans les masses spongieuses des poumons, dont elles forment ainsi une grande partie. Les matériaux nécessaires à la rénovation du sang sont amenés des *organes digestifs* par les *vaisseaux chylifères*, et le *canal thoracique*, et se déversent continuellement dans une large veine, située près du cœur, pour être complètement mêlés avec le sang noir, par une agitation violente, pendant son passage dans le cœur. Ce mélange, en quittant le ventricule droit, est poussé à travers les petites ramifications des vaisseaux dans les poumons, où il se trouve exposé à l'action de l'air qui vient les pénétrer pendant l'inspiration. Cette action change sa couleur, de noir pourpre qu'il était, il redevient écarlate pur, et lorsqu'il arrive au ventricule gauche, il est prêt à repartir pour le circuit que nous venons de lui voir décrire, et chargé en quelque sorte d'une nouvelle vie et de nouveaux alimens. Les deux chambres, ou ventricules du cœur, ont chacune une anti-chambre, connue sous le nom d'*oreillette* (ainsi nommée à cause de sa ressemblance extérieure avec une oreille de chien); l'usage de ces oreillettes est de recevoir d'abord le sang de toutes les veines pour le transmettre aux ventricules, dont elles sont séparées par des valvules qui laissent passer le sang des premières aux

secondes, mais s'opposent à tout mouvement rétrograde de sa part pendant les contractions des ventricules. — Des valvules disposées de la même manière s'interposent entre les ventricules et les grandes artères, et l'on en trouve dans le plus grand nombre des veines, dans toutes les parties du corps, où elles ont été distribuées pour assurer le cours naturel de la circulation. Outre les importans changemens qui modifient le sang pendant son passage à travers les poumons, sa composition éprouve aussi une influence notable de l'action des reins, des exhalans de la peau, du foie; — les premiers en enlevant l'humidité surabondante et les sels dont il serait surchargé, et le dernier le privant d'une grande quantité de matière qu'il sécrète sous forme de bile.

Cette description du cours du sang, qui n'est encore qu'une esquisse, renferme cependant plus de traits que Harvey n'en avait découvert, puisque nous avons indiqué de quelle manière se faisait sa rénovation. — Ici, comme dans la plupart des autres sciences, on est descendu de généralités plus ou moins vagues à des détails plus exacts; et, de même que long-temps avant d'employer la vapeur comme force motrice, on en connaissait les propriétés générales; de même que l'observation fit connaître la période de la révolution de la lune bien des siècles avant qu'on pût calculer son mouvement avec cette exactitude qui a fait de ce satellite le guide le plus sûr du marin dans ses courses lointaines, — le simple fait de la circulation du sang, mis hors de doute par Harvey, laissa ouvert un vaste champ de recherches de détail qu'il était indispensable de parcourir pour tirer d'une généralité féconde tous les trésors qu'elle renfermait, et pour les mettre à profit. — Ce n'est que depuis quelques années qu'on a complètement apprécié toute l'importance de ces accessoires, — ainsi que le démontre

la multitude d'ouvrages publiés dans le but de les éclaircir; malheureusement ces ouvrages, pour la plupart, n'ont servi qu'à mettre à nu une ignorance bien coupable des grandes lois de la philosophie naturelle, et à prouver que si ces lois pouvaient éclaircir les difficultés qu'on rencontre, les médecins, en général, n'étaient point capables de les mettre à profit. — Nous allons essayer, dans cette section, de présenter sous un point de vue commode, les points les plus importans de cette doctrine; nous espérons pouvoir montrer leurs rapports avec les lois générales de la nature, dont l'étude a fait l'objet des sections précédentes; nous parviendrons peut-être ainsi à terminer les discussions pendantes, à éloigner les doutes qui obscurcissent encore quelques parties de ce système sublime, et à suggérer quelques applications nouvelles et importantes.

Le fait de la circulation du sang une fois admis, celui qui jette les yeux sur l'appareil au moyen duquel s'accomplit cette fonction importante, est conduit par l'analogie à entrevoir, — 1° que le ventricule du cœur se vide à chaque contraction dans la grande artère; 2° qu'il résulte de ce mouvement un flot, une onde qui va se répandre jusqu'aux extrémités de l'arbre artériel, de manière à produire dans tous ses points une pulsation qui devient sensible au dehors, à cause de l'élasticité de la substance qui le compose; 3° que la force impulsive du cœur se transmettant tout le long des artères, chasse le sang à travers leurs extrémités capillaires, jusque dans le commencement des veines, et de là, enfin, jusqu'au cœur. — Or, ces aperçus que Harvey regardait comme des faits certains qui expliquaient complètement la circulation, ne sont qu'à peu près vrais, — et l'observation, depuis la découverte de ce grand homme, en a fait connaître d'autres, qui, ne cadrant point exacte-

ment avec les théories admises d'après lui, ont rendu nécessaires des recherches ultérieures. 1° La pulsation ou ce qu'on appelle le pouls, au lieu d'être *sensiblement progressif*, est presqu'instantané dans toute la masse du corps, et l'onde se porte sur tous les points avec une rapidité qu'on peut comparer à celle du fluide électrique; — 2° toutes les artères sont vides après la mort; et si l'on pratique une ligature sur l'une d'elles, la partie située au-delà de la ligature, et qui ne peut dès-lors recevoir l'impulsion du cœur, se vide cependant bientôt à travers les capillaires dans les veines. — 3° Bien que les vitesses avec lesquelles le sang traverse les capillaires soient très-variables, on a remarqué que ces variations n'étaient point absolument dépendantes de celles qui se manifestent dans la rapidité ou la force du cœur. — Passons à l'examen détaillé de ces phénomènes, et suivons le sang dans son circuit du cœur au cœur pendant les trois périodes de ses passages, 1° dans *les artères*, 2° dans *les capillaires*, 3° dans *les veines*.

Mouvement du sang dans les artères.

Les contractions du cœur projettent le sang dans les artères avec une force qui y détermine une pression intérieure que le docteur *Hales* chercha à constater par des expériences intéressantes. Il a trouvé (*voyez* ses *Statical essays*) que pour les gros animaux, le cheval, par exemple, un tube vertical mis en communication avec une artère quelconque, se remplissait de sang jusqu'à une hauteur d'environ dix pieds au-dessus du niveau du cœur, et que chaque pulsation de ce viscère faisait osciller le niveau supérieur de quelques pouces autour de cette limite. — Or, nous avons vu, pages 10 et 11 de ce volume, qu'une colonne d'un mètre de hauteur et d'un décimètre carré de base, correspondait à

une pression de dix kilogrammes par décimètre carré de surface; une colonne de trois mètres (10 pieds anglais) indiquerait donc une pression de trente kilogrammes par décimètre ou de 300 *grammes* par *centimètre* carré de surface; telle est la force avec laquelle le cœur, dans ces animaux, chasse le sang le long des artères dans les veines, ou ce qu'on peut appeler la tension. — La tension opposée des veines est beaucoup moindre, parce que, comme nous le verrons plus tard, le sang passe librement de ces vaisseaux dans le cœur. Hales a trouvé que le sang ne s'élevait dans un tube vertical mis en communication avec une veine, qu'à quelques pouces au-dessus du niveau du cœur. — Ses expériences l'ont encore conduit à ce résultat, que les tensions de l'artère et de la veine étaient moindres chez les petits animaux que chez les gros, et il en a déduit les rapports suivans pour le corps humain; savoir, que dans les circonstances ordinaires, la tension des artères était mesurée par une colonne de $2^{m}.4$ (8 pieds anglais), ce qui équivaut à une pression de 240 *grammes par centimètre carré*, — et que la tension des veines correspondait à une hauteur de 15 centimètres, ou à une pression de 15 grammes par centimètre carré de surface.

Lorsqu'on examine la texture des artères après la mort, on les trouve composées de plusieurs *tuniques* superposées les unes aux autres : 1° une extérieure, forte, élastique, et qu'on a coutume d'appeler *tunique celluleuse;* 2° une moyenne, située entre l'extérieure et l'intérieure, composée de *fibres* jaunes, *circulaires* ou transversales, mais non longitudinales, et qu'on appelle *la membrane propre des artères;* 3° enfin, une *tunique* intérieure qui est *lisse* et polie. — L'élasticité de ces vaisseaux, c'est-à-dire la faculté dont ils jouis-

sent après la mort de revenir à un état moyen, lorsqu'on a fait varier cet état par dilatation ou par compression, attira d'abord l'attention; mais une étude plus approfondie des phénomènes vitaux a fait connaître les faits suivans, qui prouvent que la tunique fibreuse jouit d'une certaine contractilité :

I. Si l'on coupe transversalement une petite artère vivante, elle ne tarde point à se contracter au point de fermer son canal et d'arrêter ainsi l'hémorragie.

II. Lorsqu'on saigne un animal jusqu'à cessation de la vie, les artères s'accommodent en quelque sorte à la quantité sans cesse décroissante de son sang; elles se contractent bien au-delà du degré que leur seule élasticité leur permettrait d'atteindre, et se relâchent ensuite après la mort. Le docteur Hales enleva jusqu'à dix-huit litres sept dixièmes de sang à un cheval avant que la mort s'en suivît; il n'y trouva plus ensuite que trois litres trois dixièmes pour tout le sang qui lui restait; et cependant un instant avant la mort, la tension des artères faisait encore équilibre à une colonne de sang de six décimètres dans son tube d'expérience.

III. Si l'on met à nu par la dissection l'artère d'un animal vivant, on la voit quelquefois se contracter en peu de minutes à un haut degré; et, en pareil cas, une fibre unique de l'artère peut être affectée, de sorte que le canal se rétrécit comme s'il était étranglé en ce point par un fil. (*Voyez l'ouvrage de Parry sur le Pouls.*)

IV. Lorsqu'on lie une artère vivante, la partie comprise entre la ligature et les branches les plus voisines du cœur se contracte graduellement et devient enfin une corde solide et impénétrable.

V. Les fluctuations dans l'action vitale des parties sont souvent accompagnées d'une augmentation ou

d'une diminution de calibre dans les artères correspondantes.

Bien que ces divers faits prouvent irréfragablement une contractilité dans les tuniques artérielles tout-à-fait distincte de leur élasticité, quelques physiologistes leur ont long-temps refusé cette propriété, en se fondant sur ce que les fibres circulaires différaient des muscles ordinaires quant à la couleur et quant à la composition chimique de leur substance, et de plus, sur ce qu'elles n'étaient point immédiatement affectées par les actions électriques, les piqûres, les hautes températures, etc. — Cette dispute, toutefois, existait plutôt sur les mots *contractilité* et *muscularité* que sur les faits eux-mêmes.

Le pouls dans les artères doit paraître un nouvel indice de cette contractilité propre, active, dont jouissent leurs tuniques, si l'on considère surtout qu'il est presqu'instantané dans tout le système et pour tous les états de dilatation artérielle, et de plus sa force considérable dans les branches les plus petites et les plus éloignées : car,

I. Si l'arbre artériel n'était pendant la vie qu'un système de tubes susceptibles d'une dilatation aussi grande qu'après la mort, l'origine de l'arbre ou le tronc influerait sur le mouvement du sang qui l'aurait traversé à peu près de la même manière que *le réservoir à air* (*fig.* 20, pages 97, 98 de ce volume) sur l'eau contenue dans le système de tuyaux qu'il précède; c'est-à-dire que — de même que celui-ci convertit les ondes saccadées et intermittentes des pompes en un courant à peu près uniforme à l'extrémité des tuyaux, celui-là, s'il était simplement élastique, pousserait dans les branches artérielles un flot plus calme, plus tranquille, moins abrupt que ne l'indique ce pouls saccadé et bon-

dissant de la vie à l'artère extrême du poignet, où il n'est guère moins sensible que près du cœur lui-même.

II. Si le pouls n'était qu'une onde résultant de la progression du sang dans des tubes flexibles, prêts à céder ou à s'éloigner de leur état moyen de dilatation aussi facilement que les artères mortes, ce mouvement progressif du cœur vers les extrémités serait parfaitement distinct et successif; or, au contraire, il est instantané dans tout le système à la fois, ou du moins il est si rapide qu'on le compare ordinairement à une commotion électrique.

III. On a essayé de produire un pouls artificiel dans les artères d'un animal récemment expiré, en remplissant ces vaisseaux d'un liquide, d'eau, par exemple, jusqu'au degré de tension qu'ils éprouvent pendant la vie, et y injectant par intervalles, et à l'aide d'une seringue, une quantité d'eau égale à la quantité de sang projetée par le cœur à chaque contraction : mais bien que l'artère fût alors tendue presqu'à la limite de sa dilatabilité, et par conséquent rigide, les battemens parurent très-différens de ceux qui se manifestent pendant la vie. — On a varié cette expérience, sans plus de succès toutefois, en mettant en communication l'artère d'un animal mort avec l'artère correspondante d'un animal vivant.

IV. Un tube, hautement élastique, pour chasser une onde liquide avec une rapidité à peu près égale à celle du pouls, exigerait d'être rempli à une tension telle qu'on le distinguerait au toucher au milieu d'une masse charnue, par exemple, comme une corde ou un cylindre solide; — et il agirait constamment à la manière des ressorts, c'est-à-dire qu'il tendrait à se rectifier et roidirait ainsi les parties qu'il traverse. Or, les artères vivantes, entre leurs pulsations, sont pres-

qu'aussi molles et compressibles que la chair qui les environne, et elles n'opposent aucune résistance sensible à la courbure, à la déformation ni au mouvement des parties. — C'est ce que prouve l'examen des lèvres, par exemple, ou celui des doigts; cependant, lorsqu'un homme est assis une jambe croisée par-dessus l'autre, l'ébranlement que le pied suspendu reçoit coïncidemment avec le battement du pouls, montre les efforts que fait l'artère pour se rectifier pendant les instans de la plus grande tension.

V. Une forte onde éprouverait dans des vaisseaux élastiques un mouvement de rebroussement à partir des extrémités, ou les traverserait avec violence, et le recul serait particulièrement remarquable auprès de la ligature d'une artère; or, l'examen n'a pu faire découvrir de pareils effets dans les corps vivans. — La ligature d'une artère *au-delà* d'une tumeur anévrismale, et qui arrêterait une forte onde, amènerait presqu'infailliblement la rupture; cependant M. Wardrope et autres ont récemment exécuté cette opération avec succès.

VI. L'onde éprouverait de la part du bandage dans l'opération de la saignée une interruption plus grande que ne l'indique le pouls.

VII. Le pouls, dans un membre paralysé, paraît souvent plus affecté que ne pourrait le faire supposer un simple changement de dimension dans l'artère. Une remarque analogue et inverse peut être faite sur le battement d'une artère qui conduit à une partie enflammée.

VIII. Si l'on ouvre l'abdomen d'un animal vivant, on voit l'artère mésentérique dans toutes ses ramifications se roidir et s'élever subitement à chaque pulsation; et cela sans qu'on puisse raisonnablement l'attri-

buer à l'épanchement du sang nouvellement reçu dans un vaisseau très-flexible.

IX. Les expériences intéressantes faites par *Bichat*, *Parry* et autres, dans le but de déterminer avec exactitude l'étendue de la dilatation supposée et de la contraction des artères sous l'influence du pouls, n'ont pas indiqué la plus légère variation de ce genre, même à l'œil armé du microscope.

Dès-lors il paraît nécessaire, pour expliquer ces phénomènes, d'admettre dans tout le corps, et presque simultanément avec les contractions du cœur lui-même, une action des fibres contractiles des artères qui modifie leur élasticité naturelle et les rend suffisamment rigides, sous tous les degrés de dilatation, pour que le cœur y propage son action propre, à peu près comme il le ferait à travers des tubes métalliques. — Le docteur Young, dans un mémoire inséré dans les *Transactions philosophiques pour l'année* 1809, et qui porte le caractère ordinaire d'élégance et de précision qui distingue tous ses écrits, a montré par l'expérience et le calcul, que dans les vaisseaux élastiques les ondes devaient procéder plus rapidement qu'on ne l'avait pensé jusqu'à lui; cependant la transmission du pouls paraît être encore plus rapide que son calcul ne l'indique; — il est évident que lorsque les artères, par suite de leur déplétion, se contractent au-dessous de leur état moyen, leur tension et la puissance avec laquelle elles transmettent la pulsation doivent dépendre de l'état de leurs fibres contractiles.

Si des expériences faites avec soin n'ont pu montrer la plus légère variation dans la dimension des artères pendant le passage du flot, si elles paraissent ainsi devoir renverser cette ancienne théorie qui attribuait la pulsation à une tuméfaction considérable, à un renfle-

ment partiel qui s'avançait à la manière d'une vague tout le long des artères, ou à des réplétions et des déplétions successives, comme pour le cœur, on n'en doit pas conclure pour cela qu'il n'y ait point, en général, constriction des vaisseaux sur leur contenu : car, si l'on considère le système artériel humain comme une cavité unique, et remplie de cinq livres de sang, par exemple (ce qui probablement s'éloigne peu de la vérité); si l'on admet que les vaisseaux retiennent leur contenu, même entre les battemens, avec une force suffisante, pour prendre tous une forme cylindrique, tout en conservant leur souplesse et tout en cédant à la pression du doigt; si l'on suppose enfin que leurs tuniques, au moment de la pulsation, éprouvent une contraction soudaine, comme si elles étaient soumises à une commotion électrique, — il ne s'ensuivra pas nécessairement que les artères doivent diminuer sensiblement de volume, même sous la plus forte action de leurs tuniques, puisque le sang n'est point compressible, et puisqu'il en entre dans le système, à chaque battement, une quantité précisément égale à celle qui s'en échappe avant le battement suivant; — les seuls effets sensibles de cette action des tuniques seraient : une conversion subite de ces tubes mous, flexibles, (comprimés en quelques parties), en cylindres durs et résistans, et un choc ou une pulsation contre le corps comprimant, lorsque l'artère, aplatie par une pression partielle, reprendrait sa forme cylindrique. Nous discuterons à l'article *Pouls* quelle influence une telle action peut avoir sur le battement des artères; mais il nous faut étudier préalablement le mouvement du sang dans les capillaires et dans les veines.

Cependant, quelle que soit l'idée qu'on puisse prendre raisonnablement de l'action des artères, il faut admettre

qu'elles ne contribuent au mouvement du sang que comme des tubes de communication : leur tension, et par conséquent la force avec laquelle le sang est poussé dans les capillaires, ne dérivant uniquement que du cœur. — Quelques physiologistes ont cru confusément à une action propulsive des artères ; mais un peu de réflexion aurait pu les convaincre que ces vaissoaux, ne jouissant d'aucune contraction vermiculaire ou progressive, comme les intestins par exemple, ne pouvaient pas plus pousser le fluide qu'ils contiennent que tout autre tube rigide ou élastique, — Bien qu'elles ne soient point effectivement des instrumens de propulsion, cependant, en élargissant ou rétrécissant leur calibre, c'est-à-dire en devenant de purs conduits plus ou moins ouverts, elles ne peuvent manquer d'avoir une grande influence sur la distribution du sang et sur la rapidité de sa transmission.

Le plan de cet ouvrage ne nous permet point de faire ici l'historique des erreurs assez nombreuses dans lesquelles sont tombés des hommes d'un mérite reconnu, en essayant d'expliquer les fonctions des artères ; nous jetterons cependant un coup-d'œil sur les hypothèses suivantes. — Deux des plus illustres physiologistes, le docteur *Monro* et *John Hunter*, croyaient que les artères aidaient presque aussi activement à la progression du sang, que le cœur lui-même ; et quelques professeurs parlent encore aujourd'hui de leur *action propulsive ;* nous ne nous arrêterons point à réfuter de nouveau cette opinion. — L'ingénieux *Bichat*, n'ayant pu découvrir aucune contraction ni dilatation dans les artères, fut conduit à regarder le cœur comme le moteur unique de la masse liquide, qu'il croyait se mouvoir comme une tige solide de métal ou de bois qui serait poussée par une de ses extrémités. — Le docteur Parry envisa-

gea ce problème sous le même point de vue, et l'expliqua par le mouvement progressif que prend la dernière bille d'une rangée lorsqu'on frappe la première. Mais ces deux auteurs négligèrent dans leur théorie cette loi importante de l'hydrostatique (page 4 de ce volume) : *Egalité de pression dans tous les sens*, et de laquelle il résulte que la pression exercée sur le fluide renfermé dans le tube, tendait à dilater celui-ci tout aussi puissamment qu'à pousser celui-là en avant. Enfin, ils ne prirent point en considération ce fait : que le cours du sang dans les artères est à fort peu près uniforme. — Le sang ne pouvait avancer, dans leur hypothèse, que par la rigidité absolue qu'acquerrait un instant les artères, à l'aide de la contractilité de leurs fibres.

Il est utile de remarquer ici, bien que ce ne soit pas un fait strictement mécanique, que les artères augmentent ou diminuent constamment de volume, selon les changemens qui peuvent survenir; — ainsi, celles qui conduisent à une tumeur croissante, croissent en même temps que la tumeur, tandis qu'au contraire, on voit diminuer d'une manière remarquable celles d'un moignon laissé après l'amputation; — ainsi, lorsque l'artère principale d'un membre s'oblitère par une cause quelconque, après une opération d'anévrisme par exemple, les petites branches collatérales anastomosées augmentent de volume pour la suppléer.

Remarquons encore que, lorsque les artères sont appelées à porter une plus grande quantité de sang, non-seulement elles augmentent de volume, mais on les voit souvent devenir flexueuses, et pour ainsi dire serpenter; celles qui vont aux parties dont les actions sont naturellement intermittentes affectent en général la même forme; nous trouvons un exemple de l'un et de l'autre cas dans les artères qui conduisent à des tumeurs rapide-

ment croissantes, ou à des anévrismes variqueux, et dans celles de l'utérus pendant la grossesse, et des mamelles lors de la sécrétion du lait. Cette flexuosité des artères, leur ramification très-curieuse en un si grand nombre de branches qui se réunissent de nouveau, et qu'on remarque parmi celles qui se dirigent vers la masse cérébrale de quelques animaux, paraissent destinées, non à ralentir la vitesse du courant sanguin, mais à donner à l'artère une plus grande influence sur l'alimentation.

Passage du sang à travers les capillaires.

Nous avons vu que le cœur maintenait dans les artères une tension d'environ 240 grammes par centimètre carré de leur surface; c'est donc avec cette force qu'il pousse le sang dans les systèmes capillaires. Si ces vaisseaux n'étaient que des tubes passifs, constamment ouverts, une telle force serait suffisante pour faire passer le sang à travers leur capacité avec une certaine vitesse uniforme; mais leur activité est très grande, très-variable même; c'est parmi eux que s'effectue le phénomène de la nutrition des différentes parties du corps, celle des *muscles*, celle des *os*, des *membranes*, etc.; —que toutes les sécrétions s'accomplissent, celles de la *bile*, de la *salive*, du *suc gastrique*, etc.; et pour remplir des fonctions si variées, et souvent si variables, il est nécessaire qu'ils puissent avoir la plus grande influence sur le mouvement du sang qui les traverse.—Les capillaires des joues, sous l'empire de la honte, se dilatent instantanément, et celles-ci se colorent, l'individu *rougit;* — est-il ému par la colère ou par la crainte, les capillaires se vident immédiatement, son visage *pâlit.* — Un seul instant suffit pour faire couler les larmes, et un seul instant les tarit. — Il en est de même pour la salive. — Et si l'on saigne, des deux bras à la fois et aux veines correspondantes, un

homme dont une des mains est affectée par une inflammation, il sortira deux fois, ou trois fois autant de sang du côté malade que de l'autre. On remarque des variations semblables dans beaucoup d'autres cas. Or, l'action purement mécanique de vaisseaux capables de tels phénomènes doit dépendre des tuniques contractiles ou musculaires; et il n'est pas inutile de remarquer à ce sujet que les branches artérielles ont toujours d'autant plus de ce tissu contractile et fibreux qu'elles sont plus petites.

Un tube musculeux capillaire assez puissant pour se fermer au courant artériel qui vient du cœur, aurait nécessairement assez de force pour pousser le sang jusqu'à ce viscère à travers les veines, quand bien même la résistance de ce côté serait égale à la force impulsive de l'autre. — Supposons, en effet, que la première fibre circulaire du tube se ferme complètement, il est évident qu'elle exercera la même force répulsive des deux côtés, c'est-à-dire du côté de la veine et de l'artère. Dès-lors, si la série de fibres en anneaux qui composent le tube se contracte successivement dans le sens de l'artère à la veine, à la manière des fibres du canal intestinal par exemple, tout le sang qui se trouve dans le capillaire passera dans la veine, c'est-à-dire s'avancera vers le cœur; et si le capillaire se relâche du côté de l'artère pour ouvrir un passage au sang, et se contracte de nouveau de l'artère vers la veine pour y pousser le sang, comme tout à l'heure, il s'établira dans le système veineux une véritable progression indépendante du cœur. — Il est bien entendu que nous ne donnons ceci que comme une simple possibilité, car la nature intime de l'action capillaire n'est point visible, et l'on ne sait rien de bien positif à cet égard.

C'est par l'action capillaire que s'effectuent les absorp-

tions et le mouvement des fluides dans ces classes d'animaux qui n'ont point de cœur, et ce doit être la même action qui meuve le sang dans les monstres à sang chaud qui manquent de ce viscère.—On a observé chez l'homme des cas de mort apparente, où le cœur reste sans action sensible pendant l'espace de plusieurs jours, et cependant une certaine circulation, suffisante pour conserver la vie, s'effectuait à l'aide des capillaires. Comme exemple d'action capillaire, on peut encore citer l'absorption par les vaisseaux chylifères, et peut-être jusqu'à un certain degré, la circulation du sang dans le foie des animaux. Le sang recueilli par les veines dans les viscères abdominaux, au lieu d'aller directement au cœur, se distribue de nouveau dans le foie par les branches de la *veine-porte;* il est ensuite repris par les veines ordinaires qui le portent au cœur, où il ne revient ainsi qu'après avoir traversé deux systèmes de capillaires.

L'action des capillaires est la cause de ce singulier phénomène, qui empêcha les anciens de découvrir plutôt la circulation du sang; c'est cette action, en effet, qui vide les artères de leur contenu, après la mort.—Toutes les parties musculaires de l'animal, y compris par conséquent les tuniques contractiles des vaisseaux, conservent leur vie propre et leur puissance de contraction long-temps après que la respiration a cessé.—C'est ce que prouvent le retour à la vie des personnes noyées ou étouffées,—le bondissement d'un cœur qu'on enlève à un animal vivant,—les actes pour ainsi dire vitaux que le galvanisme excite chez les animaux morts depuis peu,—mais surtout la disparition totale d'une inflammation partielle après la mort du malade; toute inflammation, en effet, entraîne une distension excessive dans les capillaires, et lorsque le cœur a cessé de pousser le sang jusqu'à ces systèmes, leur force contractile conti-

nuant à agir, même après la mort, en chasse le sang, et fait souvent disparaître toute trace de la maladie qui a emporté le patient. — Ainsi, dans les cas ordinaires, les capillaires conservent leur vitalité et leur activité propres pendant un temps considérable, après que toute respiration a cessé. Ils travaillent, on pourrait dire, comme un nombre infini de petites pompes chargées de vider les artères dans les veines; et comme le sang rouge est à la fois leur aliment et leur excitant, leur travail dure tant qu'il en arrive par les artères : il faut cependant excepter, jusqu'à un certain point, les capillaires des poumons, dont l'action est suspendue peu après celle de la respiration, tant parce qu'ils sont alors remplis de sang noir ou veineux, que parce qu'ils se trouvent comprimés par l'affaissement du thorax; le sang s'accumule alors en arrière de ces capillaires. — Les systèmes capillaires peuvent continuer à se remplir aux dépens des artères, soit en vertu de leur élasticité, qui, en les ouvrant, établit ce qu'on appelle une aspiration, soit en vertu d'une puissance absorbante et vitale semblable à celle dont jouissent les vaisseaux chylifères, et en général les vaisseaux absorbans des animaux, ou ceux des racines dans les végétaux. — On a remarqué que les artères contenaient du sang comme les veines, dans les animaux tués par la foudre ou par des poisons qui détruisent toute irritabilité musculaire. — Si l'on fait la ligature d'une artère sur un animal vivant, toute la partie située au-delà de la ligature se vide bientôt dans les veines, et s'aplatit. — Cette expérience a été faite sur l'aorte elle-même.

L'état des artères après la mort est encore aujourd'hui attribué, par quelques professeurs, à la vitesse avec laquelle le sang est chassé du cœur lors de sa dernière contraction; — vitesse suffisante, disent-ils,

pour le lancer facilement à travers les capillaires les plus éloignés; exemple frappant de l'insouciance et de la légèreté avec lesquelles les hommes les plus distingués reçoivent et répètent des opinions toutes faites sur des questions auxquelles ils n'ont jamais bien sérieusement pensé. Un tel effet ne pourrait jamais avoir lieu, même si l'action du cœur, au moment de la mort, avait toute l'intensité possible; et l'on sait qu'alors elle est en général si faible, que le pouls cesse d'être perceptible aux extrémités, qui dès-lors se refroidissent par le ralentissement de la circulation. — D'autres physiologistes enseignent que les artères ont le pouvoir de se contracter au point de presser sur leur contenu et de l'expulser en totalité; — mais les grosses artères, en se vidant, ne se contractent point *circulairement* comme un intestin : elles deviennent *plates*, elles s'affaissent comme ces tubes de cuir qui servent à l'arrosement, au moment où ils se vident; conçoit-on, je le demande, une action contractile qui puisse rapprocher leurs parois de cette manière? — Si les artères se vidaient par une action propre, l'artère pulmonaire le ferait bien plus certainement que l'aorte, puisqu'elle est plus courte; cependant elle est toujours pleine, ce qu'on peut attribuer, ainsi que nous l'avons indiqué ci-dessus, à ce que les capillaires du poumon cessent d'agir lorsque la respiration est éteinte, le sang noir ou veineux qui les remplit alors ne les stimulant plus.

Passage du sang à travers les veines.

Les tuniques des veines sont beaucoup plus fines que celles des artères, et pris dans son ensemble, le système veineux est beaucoup plus ample, a beaucoup plus de capacité que le système artériel, — Il est double, en

effet, dans presque toutes les parties, et présente, en outre, de fréquentes anastomoses ou communications.

Le poids seul d'une colonne de sang renfermé dans une artère descendante, suffit pour élever ce fluide à travers les capillaires et dans les veines à une hauteur égale à celle de cette colonne; ceci est une conséquence nécessaire des théories développées page 36 de ce volume, sur la propriété dont jouissent les fluides de prendre leur niveau. — Or, la crosse de l'aorte s'élève d'une hauteur très-remarquable au-dessus du cœur, et l'artère descendante contient dès-lors une colonne de sang suffisante pour élever celui des veines, non-seulement au niveau du cœur, mais bien au-delà. Outre cet effet nécessaire de la gravité sur le courant veineux, le sang est poussé dans les artères, et par conséquent dans les veines, avec la force d'impulsion exercée par le cœur, et que nous avons évaluée ci-dessus à 240 grammes par centimètre carré de surface, pression équivalente à celle qui serait produite par une colonne de $2^{m}.4$ de hauteur au-dessus du cœur. On pourrait peut-être croire qu'en vertu de cette loi des fluides, *égalité de pression en tous sens*, il devrait résulter de ces diverses causes une égalité de tension dans les veines et dans les artères; mais il faut bien remarquer que le sang n'est point retenu dans les veines, et qu'il s'en échappe librement pour passer dans le ventricule droit du cœur. Il ne peut donc, dans les circonstances ordinaires, y avoir dans les veines une tension plus grande que celle qui est précisément nécessaire pour élever le sang jusqu'au cœur et pour vaincre les frottemens; il en serait absolument de même d'un tube de cuir vertical, ouvert par le haut et alimenté d'eau par une forte pompe qui injecterait le liquide à travers une petite ouverture faite à la partie inférieure de ce tube; système

dans lequel la plus grande tension ou pression serait évidemment mesurée par la hauteur de la colonne fluide du tube, plus la force nécessaire pour vaincre les frottemens. Il résulte des expériences du docteur Hales, citées plus haut, qu'un tube mis en communication avec une veine, de manière à en recevoir le sang, ne s'est rempli que jusqu'à une hauteur d'environ 15 centimètres au-dessus du niveau du cœur; et comme le docteur Hales coupait la veine complètement en travers, et introduisait le tube dans la portion qui venait des capillaires, il aurait pu prendre une idée de la force avec laquelle le sang est poussé des capillaires à travers les veines, sans la communication latérale des veines entre elles, communication qui réduit la tension, même dans une branche obstruée, à la tension générale du système. Lorsque l'animal, en s'agitant ou en faisant quelque effort, gênait le passage du sang dans le cœur, la tension de toutes les veines augmentait, et un tube introduit dans la jugulaire de retour se remplissait de sang jusqu'à une hauteur de 9 décimètres (3 pieds anglais) au-dessus du niveau du cœur.

Si le sang ne s'échappait point des veines, comme nous l'avons décrit ci-dessus, la seule cause qui pourrait empêcher la tension veineuse de devenir aussi grande que la tension artérielle, ne pourrait être que l'obstruction des capillaires; mais les faits et les considérations suivantes prouvent que ces vaisseaux, qui dans le cadavre laissent passer les injections, permettent le libre passage du sang pendant la vie : 1° M. Magendie ayant mis à nu l'artère principale et la veine d'un membre, les détacha des autres parties et les isola, en comprimant celles-ci sous un bandage serré de manière à faire de cette artère et de cette veine les seuls canaux de circulation du membre inférieur; il remarqua

qu'en faisant une ligature séparée sur la veine, afin de prévenir le retour du sang vers le cœur, et une ponction au-delà de cette ligature, le flux de sang était lent ou rapide, suivant qu'on permettait au cœur de produire une tension moindre ou plus grande dans l'artère: cette tension était réglée par la compression des doigts sur l'artère; 2° tout étant disposé comme ci-dessus, on remarque que le sang monte dans un tube mis en communication avec une veine obstruée, à une hauteur très-peu différente de celle à laquelle il s'élève quand le tube est en communication avec l'artère; 3° on sait que lors d'une saignée, le sang jaillit de la veine, dans le premier instant, comme s'il sortait d'une artère, et qu'il va souvent tacher un plafond élevé; 4° l'œil armé du microscope reconnaît l'uniformité du mouvement du sang dans les capillaires, où il semble poussé par la pression constante qui résulte de la tension artérielle, et non par une action intermittente; 5° si l'on trouble l'action du cœur, en obstruant le passage du sang qui y arrive, toutes les veines qui s'y rendent se gonflent presqu'immédiatement, et cette tuméfaction est surtout sensible aux environs du cou et de la tête: il en résulte aussi une enflure dans le foie, accompagnée d'une douleur aiguë; 6° il résulte des expériences du docteur Young, rapportées dans les *Transactions philosophiques pour l'année* 1809, que des capillaires parfaitement ouverts doivent retarder le flot du sang sous la tension ordinaire des artères, d'une quantité précisément égale à celle qu'on remarque en effet; — coïncidence qui prouve que ces capillaires doivent être ouverts; et l'on sait que des vaisseaux ouverts, quelque petits qu'ils puissent être, et avec quelque lenteur qu'ils fassent passer le sang, devront, lorsqu'on opposera un obstacle à la sortie du sang des veines, transmettre à ces derniers

vaisseaux toute la tension artérielle, sans diminution aucune; 7° l'action des capillaires en vertu de laquelle se vident les artères dans les veines, après la mort, prouve que, sous l'influence de certaines circonstances, la tension veineuse peut même dépasser la tension artérielle. — Il résulte incontestablement de ces faits et de quelques autres que nous pourrions citer, que le sang est poussé à travers les artères et les systèmes capillaires dans les veines avec une force suffisante pour l'élever de nouveau, non-seulement jusqu'au cœur, mais même de plusieurs pieds au-dessus de lui; c'est à-dire à une hauteur égale à celle qui ferait équilibre à la tension des artères elles-mêmes. Cependant, il faut le dire, cette vérité importante est aujourd'hui même si peu répandue ou si mal comprise, que des ouvrages élémentaires récemment publiés, et qui font autorité dans l'enseignement, parlent du courant veineux comme d'une question encore plongée dans une obscurité profonde, tandis que d'autres auteurs, plus impatiens que capables de l'expliquer, lui ont assigné des causes que les physiciens taxeront avec raison d'absurdités manifestes; c'est ce que nous montrerons ci-après. — Toute la difficulté de la question parait tenir à la grande disparité qu'on observe entre la tension des artères et celle des veines, tandis qu'on ne semble point vouloir remarquer que cette disparité doit exister, puisque le passage des veines au cœur est entièrement libre.

L'illustre Bichat, par une négligence bien extraordinaire en lui, se persuada que l'influence du cœur cessait entièrement aux capillaires, et que le sang ne revenait au cœur à travers les veines que par la seule action de ces capillaires. Comment fit-il pour ne point remarquer que si les artères n'avaient eu d'autre but que de servir de canaux de transport pour le sang, du cœur aux ca-

pillaires, la force extraordinaire de leurs tuniques eût été superflue? comment ne vit-il point que cette force était calculée pour résister à la pression que l'action puissante du cœur devait exercer sur elles pour introduire ce fluide dans les capillaires, lui qui savait que la nature ne fait jamais rien en vain? Cette observation s'applique d'une manière frappante à l'artère pulmonaire, dont les diverses branches n'ont que quelques pouces de longueur.

Cette uniformité du cours du sang le long des veines, résultat des influences combinées du cœur et des capillaires, ainsi que nous venons de l'expliquer, et qui d'ailleurs devient visible dans l'opération de la saignée, souffre des perturbations considérables dans le voisinage du cœur, et cela par trois causes : 1° Comme il n'y a point de valvule entre les veines et les oreillettes du cœur, chaque contraction de l'oreillette droite tend à repousser le sang en arrière dans les veines avec une force égale à celle avec laquelle elle le pousse en avant dans le ventricule; telle est la cause du pouls veineux, souvent sensible dans le voisinage de la poitrine; 2° lorsque les côtes se soulèvent pendant l'inspiration, la cavité du thorax devient plus spacieuse que pendant l'expiration, et le sang y pénètre alors plus facilement; 3° pendant le mouvement d'inspiration, c'est-à-dire lorsque la poitrine se dilate de manière à diminuer la tension ou la pression de l'air qu'elle contient (*voyez* la *Pneumatique*) elle favorise le passage du sang des veines dans le cœur. — Pendant l'expiration, au contraire, elle résiste avec une force égale à son introduction, elle ralentit la marche du courant veineux ou même le fait rebrousser en arrière. De quelque manière que cette force agisse, soit qu'elle favorise le mouvement ou qu'elle s'y oppose, on peut prendre pour sa

mesure, ainsi que nous le verrons plus loin, le poids d'une colonne de sang de 1 centim. 26 de hauteur (un demi-pouce anglais). — On voit donc que le flux du sang dans la poitrine dépend de la respiration, comme la dépense d'un fleuve qui se jette dans la mer dépend du jusant ou du montant de la marée. — Lorsqu'on examine la veine jugulaire dans des circonstances favorables, on la voit se tendre et se relâcher coïncidemment avec les mouvemens d'inspiration ou d'expiration.

Il nous reste encore à déterminer s'il existe ou s'il n'existe pas dans les veines une contractilité active et spéciale, en vertu de laquelle les parties inférieures font passer leur contenu dans les parties supérieures au-delà des valvules. Si cette contractilité existe, la valvule, en supportant alors la pression, permettrait à une plus grande quantité de sang de s'élever facilement de la partie inférieure dans la partie supérieure; et cette action, dont il ne pourrait résulter qu'une portion quelconque de la veine se vidât complètement, aurait cependant pour effet de diviser une longue et pesante colonne en un certain nombre de petites colonnes d'une résistance comparativement très-faible. Il est certain, au moins, que les valvules des veines en empêchant le mouvement rétrograde du sang, doivent avoir une influence sur son cours, lors d'un exercice corporel; car chaque fois qu'une pression est exercée sur une veine, soit par un muscle qui se renfle, soit de toute autre manière, le sang de la partie pressée est poussé en avant, et ne peut revenir.

Les veines qui sont entourées de muscles sont plus fines et plus faibles que celles qui ne sont supportées que par la peau. — Les veines externes des jambes sont presqu'aussi fortes que des artères. Cependant, celles-ci jouissent toujours d'une tenacité plus grande, et ce qui le prouve, c'est que si l'on établit une communication

directe entre une veine quelconque et une artère, il en résulte bientôt un *anévrisme variqueux*, et la veine enfle au point de crever. Les veines se prêtent à un haut degré aux quantités variables du sang qu'elles peuvent avoir à charier.

Quelques auteurs modernes, ainsi que nous l'avons dit plus haut, ignorant les faits qui prouvent que le sang est partout pressé dans les veines avec une force plus que suffisante pour l'élever de nouveau jusqu'au cœur, ou assez peu familiarisés avec les théories mécaniques pour tirer de ces faits des conséquences exactes, et éviter les erreurs dans leurs propres hypothèses, ont attribué la progression du sang dans les veines à un vide partiel, à une certaine puissance d'aspiration qu'ils ont fait résider dans le cœur ou dans la poitrine; ou en d'autres termes, à la pression atmosphérique dont l'action s'exerce constamment sur la surface générale du corps, tandis qu'elle diminue occasionnellement aux environs du cœur. — Mais cette influence, ainsi que nous l'avons remarqué, n'a d'autre effet que de causer une légère perturbation dans l'uniformité du courant veineux vers la poitrine. — Une telle doctrine n'aurait pu naître d'un homme qui aurait compris le simple mécanisme d'une pompe ordinaire; et cependant elle a été publiée, enseignée, elle est encore admise aujourd'hui par quelques physiologistes, et elle se transmettra à la postérité comme un monument chargé de lui faire connaître ce que pouvait être l'éducation médicale dans notre siècle de lumières. — A quelle dépense de travail et de génie même n'a-t-elle point entrainé MM. Carson et Barry; que d'expériences et de recherches laborieuses ce dernier surtout n'a-t-il pas entrepris pour établir sa théorie! et cependant ne paraît-il pas évident qu'il serait tout aussi absurde d'attribuer à cette influence du

cœur ou de la poitrine le retour du sang vers le cœur, qu'il pourrait l'être de prétendre, par exemple, que le flux et le reflux de la marée à l'embouchure d'un fleuve sont les causes qui lui portent les eaux des ruisseaux dans l'intérieur du pays.

Nous allons entrer dans quelques détails à ce sujet, parce que cette discussion éclaircira plusieurs points secondaires du phénomène de la circulation du sang.

Si le lecteur a parfaitement compris la théorie des pompes et tout ce qui dépend de la pression atmosphérique (*Voyez* Pneumatique.), il accordera sans difficulté les deux propositions suivantes, dont l'une ou l'autre montre l'impossibilité physique qu'aucune action d'aspiration du cœur ou de la poitrine puisse être la cause du mouvement du sang dans les veines. 1°. Les veines sont des tubes flexibles, et dès-lors capables de rapprocher leurs parois, sous l'influence d'une force très-légère, et il n'y a point de pompe qui puisse élever un liquide à travers de tels tubes. 2°. La *force d'aspiration* de la poitrine, dans l'état normal, est trop faible pour élever un liquide, même d'un seul pouce, dans quelque tube que ce puisse être.

Il est facile de se donner une démonstration pratique de la première proposition. Il suffit pour cela d'introduire l'extrémité d'une seringue dans une peau d'anguille par exemple, ou dans une veine remplie d'eau, et d'essayer d'en pomper le liquide : on verra que la petite quantité de fluide qui se trouvera près de la canule y montera ; puis les parois du tube se rapprocheront immédiatement, et s'appliqueront sur l'orifice comme une soupape, ce qui mettra fin à l'expérience.—Si on la répète sur des tubes de matières diverses, on remarquera que : plus le tube sera rigide, plus s'étendra loin l'influence de l'aspiration ; s'il faut, par exemple, exercer

une pression d'une demi-once par pouce carré pour rapprocher les parois du tube, la pompe s'emparera d'un pouce d'eau, et ainsi de suite, proportionnellement. Si, pendant l'action de la seringue, on plonge l'extrémité inférieure du tube dans un vase rempli d'eau, et qu'on ouvre cette extrémité, non-seulement la seringue n'élèvera pas l'eau du vase dans le tube, mais le liquide contenu dans celui-ci se déchargera immédiatement dans celui-là : le résultat serait encore le même quand bien même des milliers de filets liquides se rendraient dans le tube principal, à moins qu'ils n'arrivassent avec une force suffisante pour les élever jusqu'à la seringue.

Tous ces faits s'expliquent par l'influence de la pression atmosphérique (*Voyez* pages 113 à 137 de ce volume), ou des efforts que fait l'air pour pénétrer partout à la surface de la terre, efforts que nous avons évalués à un kilogramme par centimètre carré de surface, et qui dès-lors l'emporteront sur toutes les résistances inférieures à cette force, — efforts suffisans enfin pour élever une colonne d'eau de $10^m,4$ à travers un tube rigide sous le vide fait par la pompe, mais qui rapprocheront infailliblement les parois de ce tube, à moins qu'elles ne puissent résister dans une partie quelconque de leur surface à une compression proportionnée à la hauteur de la colonne d'eau qui aura pénétré dans le tube inférieurement. — Lorsque la nature a voulu qu'un tube résistât à un effort quelconque d'aspiration, elle lui a donné une rigidité proportionnelle, témoin, la trachée artère et ses branches, les seuls exemples que nous offre l'économie humaine. Et si des tubes disposés pour l'aspiration de l'air seulement, et défendus contre les influences extérieures par les parties qui les environnent ont reçu une

telle rigidité, de quelle force ne jouiraient point ceux qui seraient destinés à aspirer le sang?

On a entassé sur ce sujet des raisonnemens plus nombreux que justes; l'on a été jusqu'à affirmer, par exemple, que s'il existait un pouvoir de *succion* capable d'élever une colonne liquide d'un pouce de hauteur, une colonne quelconque, quelle que fût sa longueur, devrait suivre la première; car, disait-on, la pression atmosphérique, dont l'effet nécessaire est de remplir le vide, préviendrait toute séparation dans la colonne liquide. Mais d'abord ce raisonnement est tout-à fait inapplicable à des tubes flexibles, car le rapprochement de leur paroi permettra cette séparation, et remplira le vide; ensuite, si on l'applique à des tubes rigides, on tombera dans le genre d'erreur que commettrait celui qui oserait affirmer qu'une force capable de soulever l'un des anneaux d'une chaîne, soulèverait nécessairement tous ceux qui le suivent. L'eau renfermée dans un tube rigide, à l'intérieur duquel l'air ne peut avoir accès, peut, en effet, être considérée comme une chaîne dont les chaînons seraient retenus par une force de un kilogramme par centimètre carré, pressant de l'extérieur à l'intérieur, aux deux extrémités; or, nulle force inférieure ne pourrait détacher une portion de l'ensemble, elle ne pourrait en faire sortir un seule goutte sans soulever le tout. — Un homme ne peut aspirer l'eau contenue dans un tube rigide, fermé par une de ses extrémités; et si cette extrémité est ouverte, et que sa puissance aspiratrice ne puisse soulever toute la colonne liquide, on la verra retomber jusqu'à une hauteur proportionnée à cette puissance.

Il nous suffira, pour développer la seconde proposition, c'est-à-dire, pour montrer combien est faible cette puissance aspiratrice de la poitrine, il nous suffira, di-

sons-nous, de remarquer que le plus grand effort de succion que puisse faire un homme d'une force ordinaire soulèverait à peine, à travers un tube rigide, l'eau située à six décimètres (2 pieds anglais) au-dessous de ses lèvres. (Nous parlons ici de la succion totale dont la poitrine est capable, et non de celle de la bouche séparément, car cette dernière est une pompe beaucoup plus puissante que l'autre); l'action inverse, c'est à-dire la force expulsive donne, à peu de chose près, la même limite, et c'est ce dont il est facile de s'assurer en plongeant l'extrémité ouverte d'un tube rigide à environ six décimètres de profondeur au-dessous du niveau de l'eau, et en essayant alors de souffler à travers.

Cependant, on trouve que, lors d'une respiration ordinaire, cette force d'inspiration ou d'expiration, au lieu de correspondre à une colonne liquide de deux pieds, ou, ce qui revient au même, à *un quinzième* de la pression atmosphérique, se réduit à *un cinq centième* environ de cette pression; car l'accroissement ou la diminution de la densité de l'air renfermé dans la poitrine est mesuré par une colonne qui n'a pas même un pouce de hauteur. On conçoit facilement sans doute comment on obtient ces rapports. On introduit dans la bouche un tube de verre dont on plonge l'extrémité inférieure dans un vase rempli d'eau; on ne laisse d'autre communication que le nez entre l'air extérieur et la poitrine, et l'on note les différences entre le niveau du liquide dans le tube et dans le vase, tant pendant *l'inspiration* qne pendant *l'expiration*. La bouche peut, dans cette expérience, être considérée comme une partie de la cavité générale de la poitrine que l'air remplit et abandonne successivement, en passant et repassant à travers les ouvertures étroites des narines. Lorsque la respiration est tranquille et que les deux na-

rines sont ouvertes, les élévations ou les dépressions du niveau ne vont point à un demi-pouce de part ou d'autre. Uno seule narine étant ouverte et l'autre un peu comprimée, cet effet peut aller jusqu'à un pouce; mais si la respiration est précipitée ou convulsive, comme celle d'un animal effrayé ou souffrant, la différence peut excéder un pied. Quoique les mesures ainsi obtenues à l'aide de la bouche pêchent un peu par défaut, puisque la poitrine est alors plus éloignée de l'ouverture qui la met en communication avec l'air extérieur, on peut, sans crainte d'erreur importante, négliger cette petite différence; il suffit, pour s'en convaincre, de continuer les mêmes efforts respiratoires pendant ces expériences, en bouchant complètement l'une et l'autre narine; ou bien, l'on peut encore soumettre ce problème au calcul, en y faisant entrer l'inertie et la vitesse de l'air respiré; — et comparer ensuite les résultats avec ceux qu'on a obtenus par l'autre voie, ce calcul est semblable à celui que nous avons indiqué dans l'hydraulique pour mesurer la vitesse des eaux courantes (*voyez* cette Partie). Nous voyons donc qu'on peut admettre qu'en général, c'est-à-dire dans l'état de santé, l'augmentation et la diminution de pression à l'intérieur de la poitrine, lorsqu'on respire la bouche ouverte, peuvent être mesurées chacune par une dépression ou une élévation d'un demi-pouce au plus de la colonne liquide. Le docteur Barry, ignorant qu'un simple calcul ou qu'une expérience encore plus simple pouvait lui donner la solution du problème qu'il voulait résoudre, chercha cette solution dans l'examen des phénomènes que lui présentèrent les nombreux animaux vivans qu'il examina, et dans la poitrine desquels il introduisait des tubes, tantôt dans une partie, tantôt dans une autre. Mais si de telles expériences, en

général, pouvaient être nécessaires, celles du docteur Barry, en particulier, étaient peu propres à fournir des résultats utiles, 1° parce que la souffrance et l'agitation de l'animal rendaient sa respiration violente et tout à fait contre nature; 2° parce que le tube d'expérience agissait souvent, sinon toujours, à la manière des syphons; et que le docteur Barry, qui n'avait point fait attention à cette influence, n'a pas fait connaître la différence de niveau aux deux extrémités. Ce qui prouverait, au surplus, que le niveau extérieur était presque toujours plus élevé que le niveau intérieur, c'est que M. Barry n'a presque toujours donné que l'action *d'inspiration*, quoique l'action d'expiration soit souvent plus puissante.

Prenant dès lors une colonne de sang d'un pouce pour la mesure de la plus grande action *inspiratrice* ou *expiratrice* de la poitrine dans l'état ordinaire, nous voyons que la force qui pousse le sang des parties inférieures jusqu'au cœur, peut avoir à soulever une colonne d'un pouce plus courte pendant *l'inspiration* et d'un pouce plus longue pendant *l'expiration* : telle est la mesure complète de l'influence de la respiration sur le retour du sang au cœur; or, prétendre que la pression atmosphérique, modifiée par la respiration, soit la grande puissance qui meuve le sang veineux, c'est dire qu'un enfant qui pousserait en avant ou tirerait en arrière le grand volant d'une machine à vapeur de la force de cent chevaux, pourrait bien être le premier ou le principal moteur de la machine.

Nous avons montré plus haut qu'il était impossible qu'une pompe pût élever un fluide dans des tubes flexibles, libres de rapprocher leurs parois, nous ne nous arrêterons donc point ici sur la force d'aspiration du cœur, à laquelle le docteur Carson a attribué une si

grande influence, ni sur cette tendance vers un vide extérieur au poumon, et dans lequel le cœur se trouverait plongé, en vertu de la disposition des poumons à se rapprocher sur eux mêmes; mais nous aurons plus tard l'occasion d'y revenir. Remarquons cependant que cette dernière influence est plus sensible que la simple action d'inspiration du docteur Barry, et qu'elle agit pendant l'expiration presqu'autant que pendant l'inspiration, sa force variant avec les degrés d'expansion de la poitrine. Elle est plus faible pendant la vie qu'après la mort, parce que, dans le premier cas, la rigidité des artères pulmonaires aide à supporter le poids des poumons.

Ceux de nos lecteurs qui n'auraient pu suivre l'argument précédent, se convaincront facilement qu'il n'est aucune action de succion ou d'aspiration de la part du cœur ou de la poitrine qui puisse élever le sang des veines extrêmes jusqu'au cœur, s'ils veulent se rappeler, en passant, les faits notoires qui sont incompatibles avec cette supposition, et jeter les yeux en particulier sur les pages 367, 368. Si l'on pratique une ligature sur une veine, elle se remplit et se tend au-dessous de la ligature; — si on la coupe en travers, le sang coule de la partie située en-deçà de la section, et si l'on y adapte un tube, on le voit se remplir à une grande hauteur; — la circulation n'est point interrompue lorsqu'on retient son haleine, etc., etc.

Après les explications que nous venons de donner, il serait superflu de remarquer que *l'absorption* dans les animaux ne peut dépendre de la tension atmosphérique, et que l'effet des ventouses, employées, soit à extraire le sang, soit à prévenir l'absorption du principe vénéneux dans les blessures, ne dépend en rien des variations de densité de l'air contenu dans la poi-

trine. Les raisonnemens du docteur Barry à ce sujet sont entachés des mêmes erreurs que ceux qu'il a échafaudés sur le courant veineux. Dans son explication des absorptions, il paraît avoir oublié que les fluides étaient pesans; et ce qu'il a dit de l'action des ventouses, action que nous avons expliquée page 134, équivaut à affirmer que l'action des pompes qui soulèvent l'eau d'une rivière sur une colline, est influencée par les marées ou par les pompes qui travaillent à son embouchure dans la mer.

Si les fluides contenus dans les vaisseaux n'avaient aucun poids, il est vrai que la pression atmosphérique extérieure pourrait chasser une nouvelle quantité de matière dans une cavité, au moment où, pendant l'inspiration, la pression contraire de la poitrine diminuerait d'une demi-once par pouce; — il n'y aurait du moins aucune absurdité physique à le supposer, quoique les faits physiologiques ne viennent point à l'appui : — mais si l'on réfléchit que, dans tous les vaisseaux situés au-dessous du niveau du cœur, le poids des fluides qu'ils contiennent établit une pression de dedans en-dehors, de 31 grammes environ, pour chaque hauteur verticale de 5 centimètres, ce qui fait pour les orteils, par exemple, même dans l'instant le plus favorable à l'absorption, une pression dans le même sens d'environ trois quarts de kilogramme par centimètre, on verra bien que cette absorption est une véritable *action vitale*, assez énergique pour vaincre cette résistance mécanique, et non un phénomène passif, non un acte dépendant d'une force mécanique. S'il y avait, comme le docteur Barry le suppose, pure compensation de pression aux orifices, le sang et les autres fluides s'échapperaient constamment de tous les orifices situés au-dessous du cœur, ainsi qu'il arrive

pour le premier, toutes les fois qu'on pratique une ouverture, et le fluide pourrait remplir un tube jusqu'à la hauteur du niveau du cœur. — Avec quelle reconnaissance les propriétaires des mines et tous ceux qui ont à élever des eaux, recevraient cette théorie du docteur Barry, si toutefois elle était vraie; avec quelle joie n'apprendraient-ils pas qu'il leur suffit de diminuer la pression atmosphérique d'une once ou deux par pouce carré au sommet d'un tube rempli de liquide, pour qu'un courant ascendant s'établisse et continue indéfiniment! — Hélas! ils sont encore réduits à employer de puissantes machines; ils persistent à croire qu'il leur faut au moins diminuer la pression supérieure d'une demi-once par pouce carré pour obtenir une élévation d'un seul pouce! — Quels ignorans!!!

Il règne encore un singulier malentendu sur l'influence de la pression atmosphérique, et qui a beaucoup de rapport avec la théorie précédente, si c'en est une, voici comme on raisonne : « L'atmosphère presse tout ce qui se trouve à la surface de la terre avec une force d'un kilogramme par centimètre carré; le sang contenu dans une veine qui a 50 centimètres de surface se trouve donc pressé à travers la chair avec une force de 50 kil. ; cependant la section transversale de cette veine près du cœur mesurerait à peine six décimètres carrés ; par conséquent, le sang est poussé vers le cœur avec un excès de force considérable résultant de la pression atmosphérique. » — Ce paradoxe trouve sa solution dans les lois de la pression des fluides, page 13, et à l'aide du raisonnement ci-dessus on arriverait tout juste à prouver qu'une peau d'anguille suspendue par son bord, remplie d'eau et plongée dans l'atmosphère, se viderait immédiatement, — peut-être même, qu'un coin long et aigu qu'on plongerait dans l'eau se mouvrait toujours

dans la direction du tranchant vers la tête, — et qu'enfin, un vaisseau qni aurait la forme de ce coin s'avancerait à la surface de la mer sans l'aide des voiles ou des rames.

L'étude que nous avons faite de la circulation dans les articles *Artères*, *Capillaires* et *Veines*, nous a préparés à la discussion des questions suivantes :

De la force du cœur.

Nous avons vu, ci-dessus, que la tension artérielle produite par l'action du cœur était mesurée par une colonne de sang de $2^{m}.4$ de hauteur; ce qui équivaut à 240 grammes de pression par centimètre carré de surface; le cœur a donc d'abord, lors de l'injection, cette résistance à vaincre, à laquelle il faut ajouter *l'inertie* et de la quantité qu'il injecte actuellement et celle de la masse contenue dans la grande artère, et qu'il faut mouvoir préalablement; enfin, si l'on tient compte de *l'élasticité* du vaisseau qui cède à nn accroissement momentané de pression, on trouve que le cœur doit agir avec une force d'environ 360 grammes par centimètre carré de surface (six livres anglaises, dites *troy*, par pouce carré anglais); — mais comme le ventricule gauche du cœur humain, lorsqu'il est distendu, mesure environ 62.5 centim. carrés de surface intérieure (10 pouces carrés anglais), on voit immédiatement que l'effort total du cœur peut être évalué à 22 kilogr. et demi environ (soixante livres anglaises, dites *troy*); il est digne de remarque qu'un moyen aussi facile de résoudre ce problème n'ait point frappé M. Magendie, et que ce Savant, aussi élégant que correct, ait fait entendre dans ses *Derniers Élémens de Physiologie* qu'il n'avait point reçu de solution, et qu'il se

soit contenté enfin d'une approximation déduite du mouvement du pied, lorsqu'on est assis une jambe croisée sur l'autre.

De la vitesse du sang dans la circulation.

Cette vitesse a été évaluée beaucoup trop haut : 1° Parce qu'on supposait que les ventricules du cœur se remplissaient ou se vidaient complètement à chaque pulsation ; — ce qui n'a pas lieu, ainsi que le prouvent l'inspection du cœur mis à nu sur un animal vivant, et ce fait — que les valvules disposées entre les oreillettes et les ventricules ne ferment point assez parfaitement pour prévenir complètement toute régurgitation ; 2° parce qu'on prenait pour mesure de la vitesse ordinaire, celle avec laquelle le sang sortait d'une artère ou d'une veine attaquée ; ce qui équivaut à peu près à prendre pour mesure de la vitesse de l'eau courante dans une conduite, celle du filet qui s'en échappe lorsqu'on la perce en un point, bien que ce filet soit le même lorsque l'eau de cette conduite est en repos ; 3° parce qu'on a pris pour mesure *la fréquence* du pouls, tandis qu'on sait fort bien que dans les maladies de langueur, et chez les animaux qu'on saigne à mort, le pouls devient ordinairement d'autant plus fréquent qu'il est plus faible, et qu'il y a moins de sang en mouvement ; 4° enfin, parce qu'on a pris pour mesure de cette vitesse *la force* du pouls. L'on sait, en effet, que dans une artère sur laquelle on vient de pratiquer une ligature, et où il n'y a dès lors aucun courant, le pouls est à peine plus faible que dans une artère ouverte. Les pieds d'un homme peuvent rester pendant plusieurs heures froids comme la pierre, c'est-à-dire que pendant ce temps il ne passe à travers les capillaires qu'une fort petite quantité de sang, et cependant les artères qui y conduisent battent

à peu près comme à l'ordinaire; la force du pouls n'est donc point une mesure de sa vitesse.

Dans les circonstances ordinaires, les ventricules du cœur paraissent jeter à chaque contraction 45 grammes de sang environ; ce qui fait à peu près deux kilogrammes et demi par minute. Or, si l'on admet, ce qui paraît être vrai, que la totalité de la masse du sang s'élève à 7 kilogrammes et demi environ, il y aura à peu près vingt révolutions accomplies dans une heure. Il résulte de ces données une vitesse de 2 décimètres environ par seconde dans l'aorte; cette vitesse diminue d'ailleurs graduellement dans les plus petites artères, puisque les branches d'un canal vasculaire qui se subdivise ont toujours beaucoup plus de surface prises ensemble que le tronc d'où elles émanent, et que la vitesse diminue alors dans la même proportion, — précisément comme celle des rivières qui, ainsi qu'on le sait, est toujours moindre dans les parties les plus profondes et les plus larges. On trouve que la vitesse dans les capillaires extrêmes est souvent au-dessous de 2 centimètres et demi par *minute;* dans les veines, le sang doit se mouvoir plus lentement que dans les artères correspondantes, et cela proportionnellement à la différence de capacité entre les premières et les secondes.

Du Pouls.

Cette opinion des Anciens, que les artères renfermaient des *esprits vitaux* ou de *l'air* et non du sang, avait rendu le pouls un phénomène tout-à-fait mystérieux, et ils avaient cherché à l'expliquer par des hypothèses fort curieuses, mais qu'il serait sans aucune utilité de rapporter; toutefois, la grande découverte de Harvey elle-même n'éclaira point ce phénomène autant qu'on pourrait le croire, et il existe encore à ce sujet

des opinions assez diverses, sur lesquelles nous allons jeter un coup d'œil :

1° La plupart des physiologistes ont regardé le pouls comme une tuméfaction, un renflement partiel produit dans l'aorte à chaque injection du cœur, renflement qui se transmettrait ensuite à la manière d'une onde dans tous les rameaux de l'arbre artériel; 2° d'autres l'ont regardé comme l'effet de l'action contractile des artères elles-mêmes, action correspondante à celle du cœur; 3° Bichat, qui n'avait pu découvrir aucun changement de diamètre dans les artères au moment du battement, mais qui avait remarqué dans quelques parties une espèce d'allongement qui concordait avec ces battemens, et d'où il résultait que les parties droites devenaient un moment flexueuses, et que les parties flexueuses s'infléchissaient encore plus; Bichat, disons-nous, avait assigné ce déplacement des artères pour la seule cause du phénomène : 4° on a encore supposé que l'impulsion résultant de la contraction du cœur se transmettait à travers le fluide à peu près comme le son se transmet à travers les corps, ou à la manière des percussions ou des chocs qui, appliqués à l'extrémité d'une poutre, par exemple, sont distinctement sentis par la main placée à l'autre extrémité, bien que d'ailleurs il n'y ait aucune locomotion visible; 5° le docteur Young, enfin, dans le mémoire qui fait partie des *Transactions philosophiques*, et que nous avons déjà cité, a montré qu'une ondée de sang, lancée subitement dans l'artère, de même qu'une injection dans un tube rigide, était aussi distinctement sensible au toucher que pouvait l'être une tuméfaction ou un renflement; il regarde cette circonstance comme la cause principale du pouls, et le docteur Parry paraît avoir partagé cette opinion. (*Voyez* son ouvrage sur *le Pouls.*)

Or, nous pensons que le pouls ne dépend d'aucune de ces causes prise isolément, mais qu'il les a toutes pour composantes, et que ses fluctuations résultent des rapports suivant lesquels ces diverses causes se combinent; c'est ce que nous allons essayer de prouver en les passant de nouveau en revue :

1° A chaque ondée de sang projetée dans l'aorte, il y a *nécessairement* une tuméfaction, un renflement, une onde si l'on veut, qui passe du cœur aux extrémités; n'est-il pas évident, en effet, que si le sang est le moins du monde poussé dans le système artériel, il doit dilater les vaisseaux qui le constituent, ou chasser au même instant, et par les extrémités éloignées, une quantité de fluide égale à celle qui y entre : or, le passage du sang à travers les capillaires étant parfaitement uniforme, il faut qu'il y ait dilatation intermédiaire. Ni le docteur Parry, ni d'autres que lui, n'étaient fondés à nier cette dilatation, parce qu'ils ne l'avaient point aperçue; car, quand bien même le renflement serait plus considérable, comme la vitesse de la progression est presqu'égale à celle d'une commotion électrique, elle ne peut pas plus être visible que le boulet lancé par la pièce, passerait-il d'ailleurs à une petite distance de la face;

2° La contraction des tuniques artérielles n'est certainement point, quant au mode et à l'étendue, ce que l'ont supposé ceux qui la comparent aux contractions du cœur lui-même, et qui la regardent comme pouvant suppléer l'action de ce viscère dans la propulsion du sang; cependant, ainsi que nous l'avons montré plus haut, la rigidité du tube qui est la cause de l'extrême vitesse de transmission du pouls dans tous les degrés de dilatation artérielle, ne peut dépendre que d'une contraction; il y a quelques raisons de croire que cette rigidité augmente au moment de la pulsation;

3° A moins que les tubes artériels ne soient privés de toute élasticité, ce qui est loin d'être vrai, il y a *nécessairement* allongement à chaque injection de sang, et dès lors déplacement souvent sensible au toucher, principalement aux coudes et aux courbures;

4° Qu'un choc sensible au toucher puisse se transmettre à travers un fluide, sans aucune accumulation apparente et sans aucun changement dans sa vitesse, c'est-à-dire à peu près à la manière du son, c'est ce que prouve l'observation des tuyaux de fer qui communiquent avec une pompe située même à une très-grande distance, et au moyen desquels il est facile de s'assurer si la pompe est en action; et c'est ce que prouvent même les tubes élastiques de cuir qui font le service des pompes à incendies, et qui, tout en lançant l'eau en un courant uniforme, indiquent cependant au toucher le jeu alternatif de la machine; le battement des artères sur lesquelles on a pratiqué une ligature, et dans lesquelles il n'y a, par conséquent, ni courant, ni ondée progressive, dépend principalement de la même cause et du déplacement de l'artère;

5° Il faut nécessairement admettre aussi que toute quantité additionnelle de fluide qu'on injecte dans des vaisseaux élastiques déjà pleins, se transmet d'une extrémité à l'autre, comme une onde progressive qui affecte sensiblement le doigt de l'observateur, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut. Cependant, comme le cœur bat souvent sans décharger beaucoup de sang, comme dans quelques artères, et par suite de l'inaction des capillaires ou d'une pression, le sang, pendant un certain temps, n'a que peu ou même point de mouvement progressif, tandis que le battement continue à se faire sentir, il faut admettre que le pouls, dans de telles

circonstances, est indépendant de tout mouvement progressif. Un intestin rempli d'air ou d'eau, et placé sur une table, — une veine pleine, dans un animal vivant, transmettent rapidement une pulsation distincte à une grande distance, lorsqu'on les frappe légèrement avec le doigt. Cet effet ne peut donc avoir pour cause ce simple mouvement de progression sans renflement, comme le voulaient MM. Young et Parry.

En quelque proportion que ces divers élémens se combinent pour produire le pouls, sa force est toujours proportionnée au volume de l'artère; et comme toute artère qui conduit à une inflammation augmente de volume, le pouls devra toujours augmenter de force à la partie enflammée.

Il y a à faire sur le pouls une observation extrêmement curieuse, et qui mérite à tous égards de fixer l'attention des physiologistes : c'est que, si le but du cœur et des artères était simplement la propulsion et le transport du sang, leur structure et leur action présenteraient les plus frappantes déviations des règles les mieux fondées de la mécanique. C'est une vérité généralement reconnue, en effet, qu'il faut dans toute machine éviter les chocs, les secousses, les mouvemens brusques, qui consomment en pure perte une partie de la force, et ruinent la solidité du système; et, dans la première partie de cet ouvrage, nous avons fait connaître les moyens généralement employés pour parvenir à ce but, tels que volans, réservoirs à air, ressorts, etc., etc.; nous avons montré aussi avec quel soin tout avait été calculé dans le corps humain pour atteindre cette importante condition; nous avons reconnu des degrés de perfection, que les arts s'efforcent en vain d'atteindre, dans l'élasticité si remarquable de l'épine, de l'arcade plantaire, des cartilages

d'articulation, etc.; nous pouvons remarquer, enfin, que dans les autres cavités que le cœur, qui, par la nature de leurs fonctions doivent être alternativement vides et pleines, telles que l'estomac, la vessie, l'utérus, etc., tout a été disposé pour une action douce et graduelle; le cœur seul présente une anomalie singulière. — Dès avant la naissance jusqu'à la mort, son mouvement brusque et saccadé se continue, il palpite sans interruption, et lance dans toutes les parties du système le pouls bondissant de la vie : de plus, au lieu d'être fixé et attaché à sa place, il est suspendu à l'extrémité de l'aorte, comme un poids au bout d'une lame élastique, et chaque fois qu'il la remplit, la tendance à se roidir que ce vaisseau acquiert, le projette avec violence contre les côtes, au point où la main distingue si facilement ses battemens.

Il est probable que cette disposition a pour but de créer une agitation nécessaire pour effectuer le mélange des parties hétérogènes du sang, qui se séparent si promptement par le repos; — mais tel ne peut être le but unique, car on pouvait y parvenir plus simplement; il y a donc dans ce phénomène quelque chose d'inexplicable, vu l'état actuel de nos connaissances, et qui se rapporte probablement à quelque importante loi de la vie encore cachée pour nous. On assigne ordinairement, comme cause des contractions du cœur, l'excitation, le *stimulus* du sang, mais si l'on considère que le cœur bat encore lorsqu'on l'isole du corps, et qu'il ne contient que de l'air; que, pendant la vie, ses pulsations sont parfaitement régulières, que l'état de la circulation lui permette ou non de se vider à chaque battement, on est forcé d'admettre qu'il y a encore là quelque cause plus secrète. Examine-t-on plus attentivement cette ques-

tion? l'on ne peut se soustraire à cette analogie frappante entre l'action du cœur et certains phénomènes électriques qui nous offrent aussi des alternatives de puissance et de repos, d'accumulation et d'exhaustion de force; et si l'on se rappelle les relations importantes entre l'électricité et certaines actions vitales dont les travaux récens ont prouvé l'existence, on entrevoit un vaste champ de recherches du plus haut intérêt. Le galvanisme provoque les muscles et les excite à leurs actes habituels; il affecte les sécrétions, les fonctions digestives, celles de la respiration dans l'asthme; les passions violentes semblent produire chez les animaux une véritable excitation électrique, et il en est quelques uns parmi eux qui jouissent de la faculté d'étourdir leurs ennemis par des décharges. Ne pourrait-il se faire que le pouls à la fois si brusque, si fort et si régulier, eût quelque rapport avec ce genre de phénomènes? S'il en était ainsi on concevrait plus facilement cette tension momentanée, cette légère contraction de tout le système artériel, dont l'élévation soudaine de l'arbre artériel mésentérique donne un exemple; cependant il faudra admettre que ces effets dépendent de l'action du cœur, et qu'ils lui sont proportionnés, car ils n'ont lieu que par suite de cette action elle-même; ils cessent avec elles, à la mort, en commençant par les extrémités les plus éloignées, et pendant la vie ils indiquent ses perturbations.

Les considérations précédentes indiquent assez que le pouls est un phénomène complexe, et sur lequel l'opinion des médecins n'est point encore fixée. En montrant ainsi ses rapports intimes avec les puissances vitales, elles prouvent aussi que c'est un objet d'une haute importance, et digne de toute l'attention des praticiens. Cette dernière vérité n'est guère contestée que par des

hommes tout-à-fait étrangers aux connaissances actuelles, ou par ceux à qui la nature a refusé ce qu'on pourrait appeler un discernement tactile; cependant comme on attend encore une simple et bonne analyse du pouls, un tableau de ses rapports à tous les états morbides, ses indices ne sont point également appréciés des praticiens, et ce discernement tactile n'est point l'apanage de tous. Quelques-uns tâtent le pouls pour la forme, et parce que le malade s'y attend. Grand nombre d'autres ne tiennent compte que de sa fréquence; il en est cependant qui lisent avec confiance dans ses avertissemens la majeure partie de l'histoire de la maladie, qui en prévoient les suites, et arrêtent en conséquence le mode de traitement à suivre. Il est presque impossible, avec quelque attention, de confondre le pouls du rhumatisme aigu, de l'inflammation gastrique, de la fièvre, etc., etc. L'auteur de cet ouvrage a pu remarquer une singulière pénétration sous ce rapport, dans un praticien chinois qui n'avait en médecine que les connaissances bien limitées de ses compatriotes.

Les variations de l'état du système circulatoire, dans leur rapport avec l'état de santé ou de maladie, et que l'exploration du pouls rend sensibles, peuvent être classées sous les cinq divisions suivantes; et les épithètes mises en italiques nous semblent indiquer de la manière la plus convenable les sensations qui sont perçues. — L'artère du poignet est celle qu'on choisit le plus généralement pour l'examen, parce qu'elle n'est recouverte que par la peau, et que rien ne la sépare de l'os qui est au-dessous. — eu égard :

1° Au nombre de contractions du cœur dans un temps donné, et à la régularité de leur retour, le pouls peut être *fréquent, rare, intermittent, égal, régulier, de force variable.*

2° Au degré de contraction du cœur, ou à la quantité de sang projetée chaque fois, et à l'état correspondant des capillaires quant à la quantité de sang qui les traverse, le pouls peut être *plein*, *long*, *traînant*, *bondissant*, *faible*.

3° A la force d'action du cœur, et à la tension artérielle, ou à la rapidité correspondante, le pouls peut être *dur*, *sec*, *fort*, *tendu*, *faible*, *mou*, *lâche*.

4° A la vitesse spéciale des contractions du cœur, et à la rapidité des vaisseaux dans la transmission du choc, le pouls est *vif*, *lent*.

5° A la dimension actuelle de l'artère, son calibre étant plus grand ou plus petit que dans l'état ordinaire, le pouls est *plein*, *large*, *fort*, *petit*, *faible*.

Quelque légère que puisse paraître cette esquisse, elle servira du moins à montrer de quelle importance pour la médecine serait la publication d'un bon traité sur le pouls, considéré dans ses rapports avec les diverses maladies; l'espèce d'empirisme qui prévaut à cet égard aujourd'hui, malgré son utilité réelle, ne peut satisfaire le médecin qui raisonne, et qui devrait toujours avoir présent à l'esprit les élémens constitutifs du pouls, et leurs rapports avec tous les états de santé et de maladie.—Les traités de *Solano*, *Bordeu*, *Boerhaave*, etc., pouvaient renfermer des idées très-claires pour ceux qui les ont composés; mais ces auteurs, pour n'avoir point indiqué la cause physique de variétés nombreuses, sont tellement obscurs pour les autres, que le plus grand nombre de leurs divisions et de leurs dénominations semblent dériver de notions purement imaginaires. L'excellent ouvrage du docteur Young, inséré dans les Transactions Philosophiques, contient des faits d'une haute importance; mais malheureusement l'auteur ne s'est point proposé d'indiquer les relations pathologiques: guidé

par des principes généraux, il a avancé que le mouvement du pouls était progressif, tandis que d'autres auteurs ont soutenu que la pulsation était instantanée dans tout le système. Il aurait pu ajouter, à l'appui de son assertion, un fait incontestable, c'est que la succession des battemens est sensible, 1° au cœur; 2° à la lèvre; 3° au poignet; 4° à la cheville : il est vrai que l'intervalle de temps qui s'écoule entre les passages même aux stations extrêmes, n'est qu'une petite fraction de seconde, et que la plus grande attention est, à plus forte raison, nécessaire pour découvrir la succession d'une station à la suivante; cependant on y parvient, sinon à la première expérience, du moins aux suivantes. —Le dernier Traité remarquable est celui du docteur Parry; au milieu d'excellentes choses, il contient des erreurs dues à ce que l'auteur — a cherché à faire dériver ce phénomène d'une cause unique; — à ce qu'il a nié la dilatation artérielle, parce que sa méthode d'expérience ne lui a pas permis de se convaincre de son existence; — enfin, à ce qu'il a supposé qu'une colonne liquide renfermée dans un tube élastique, devait se mouvoir comme une tige solide ou comme une file de balles de billard (*voyez* plus haut). L'insouciance des médecins pour l'étude des lois de la philosophie naturelle, n'a point seulement entaché d'erreurs grossières les ouvrages des Anciens, car aujourd'hui même des Traités qui jouissent d'une certaine estime, renferment des assertions au moins singulières. Ne lit-on point, par exemple, que le pouls artériel peut être plus ou moins fréquent que les battemens du cœur; —que sa fréquence peut même être différente dans les différentes parties du corps, et dans le même temps (*Docteur Good, Etude de la Médecine*); — que le pouls est plus fréquent dans une artère qui conduit à un panaris que partout ailleurs (*Physio-*

logie de Richerand) ; etc.... Puis les praticiens s'en vont répétant ces erreurs. — Quelle satire de la profession médicale, que ces divergences d'opinions sur un sujet qui, pour les observateurs ordinaires, paraît absorber toute l'attention du médecin lorsqu'il est près du malade !

Maintenant que nous avons étudié d'une manière générale le phénomène de la circulation du sang, nous allons en considérer quelques cas particuliers où elle est modifiée par des circonstances mécaniques.

Circulation dans la tête.

La tête peut être considérée comme un vaisseau imperméable à l'air, une cavité osseuse principalement remplie par la cervelle et par le sang, et percée d'ouvertures que traversent les vaisseaux chargés de lui porter ce fluide et de le reporter au cœur d'où il était parti. Ce point de vue fera immédiatement comprendre comment la pression atmosphérique maintient constamment la tête dans un état de plénitude, car il en est d'elle comme de la partie la plus élevée d'un syphon ; et comme la substance de la cervelle elle-même, de même que l'eau, ne change point sensiblement de volume sous l'influence d'une pression ordinaire, il doit y avoir constamment la même quantité de sang dans la tête, quelque variable que puisse être en général cette quantité de sang dans le corps. Cette importante vérité, dont la découverte a suivi celle de la pression atmosphérique, nous expliquera un grand nombre de faits obscurs, tant dans l'état de santé que dans l'état de maladie ; les suivans, par exemple :

Si, par une cause quelconque, le sang surabonde dans les artères de la tête, les veines doivent avoir en moins

ce que celles-ci ont en plus, et réciproquement s'il y a excès de sang dans les veines, il y aura défaut dans les artères : dans l'un et l'autre cas la circulation dans la tête se trouvera empêchée, retardée, car lorsqu'un canal se rétrécit dans une de ses parties, le courant, pris dans son ensemble, se ralentit nécessairement. Or, l'insensibilité est la suite nécessaire de tout retard dans l'arrivée du sang au cerveau; et la vie s'éteint pour peu que cette interruption se prolonge; il paraîtrait donc que dans un grand nombre d'apoplexies, où l'inspection ne décèle qu'une surabondance dans le système artériel ou veineux de la tête, la mort a été la suite de cette seule interruption dans la circulation. Dans les autres parties du corps qui ne sont point placées dans les mêmes circonstances que le cerveau, un excès de sang dans un système de vaisseaux peut avoir lieu sans aucun danger pour l'individu.

On n'a pas à redouter un simple accroissement de pression produit par l'action du sang sur le cerveau, pourvu toutefois qu'il s'établisse une balance convenable entre la quantité de sang des veines et des artères. — C'est ce que prouvent les observations faites dans la cloche à plonger, où, à la profondeur de trente-deux pieds, le corps supporte une pression additionnelle de un kilogramme par centimètre carré (*voyez* ci-dessus), pression qui se transmet à travers les vaisseaux sanguins à la substance de la cervelle comme à toutes les autres parties du corps. — Au contraire, celui qui gravit une montagne ou qui s'élève dans un ballon, est déchargé d'une pression considérable, sa cervelle est alors moins comprimée qu'à l'ordinaire, mais il ne court aucun danger si la balance se maintient entre les artères et les veines. — Ils ne souffrent point, en effet, les habitans de ces vallées des Andes, dont la hauteur au-dessus du

niveau des mers, équivaut à celle du Mont-Blanc, et cependant la pression atmosphérique est presque réduite à moitié.

La boîte crânienne enveloppant la cervelle de manière à ne laisser aucun espace vide, il est évident que dans les circonstances où le cœur projette le sang avec une violence inaccoutumée, c'est surtout le crâne qui résiste dans le premier instant à cet effort, et non les tuniques des vaisseaux : aussi remarque-t-on que les artères de la cervelle sont beaucoup moins fortes que celles des autres parties du corps.

Les veines de cette partie offrent aussi des singularités curieuses : des veines ordinaires se fussent fermées par suite d'une tension soudaine des artères, et l'insensibilité ou la mort aurait suivi cette interruption nécessaire de la circulation; il était donc indispensable d'imaginer de nouveaux canaux pour le sang de retour, et c'est à quoi il a été pourvu au moyen de ce qu'on appelle les *sinus;* ce sont des espèces de canaux veineux logés dans l'épaisseur de l'os lui-même, recouverts par de fortes enveloppes membraneuses, tellement solides enfin qu'ils ne le cèdent guère en force à de véritables canaux osseux. Cette singulière anomalie dans la structure des veines cérébrales, était une des conditions nécessaires à la durée de l'existence.

C'est pour n'avoir point suffisamment réfléchi sur ce fait important que le crâne est une cavité toujours pleine, et qui ne peut contenir qu'une certaine quantité de matière, que les médecins ont entassé tant d'erreurs sur un grand nombre d'affections cérébrales.

On a dit, par exemple, que la substance du cerveau ne pouvait impunément souffrir aucune compression ;— que la stupeur en était la suite, de quelque manière que cette compression s'exerçât. Il fallait dire, lorsque cette

compression a quelque influence sur la circulation du sang; car, dans les cas de fracture du crâne, on remarque que le cerveau est impunément manié, et même très-rudement, si l'ouverture est large, parce qu'alors s'il y a compression d'un côté, il peut y avoir extension de l'autre, et la circulation est libre; si la blessure est petite, au contraire, la pression exercée à l'orifice se transmet à toute la cervelle, et l'arrivée du sang est conséquemment retardée. — Qu'on réfléchisse un instant à la pression qui s'exerce sur la tête du fœtus pendant l'accouchement, — combien de fois n'arrive-t-il pas qu'elle soit allongée ou déformée, comme si elle était d'argile; — cependant l'enfant vit, prend de l'accroissement, et bientôt la tête revient à sa forme naturelle. Cela résulte de ce que la tête du fœtus jouit d'une certaine mollesse, d'une certaine flexibilité qui lui permet de s'étendre dans un sens, lorsqu'elle est soumise à une compression dans un autre; ce qui n'apporte point d'obstacle à la circulation.

L'on dit encore que les dépôts aqueux amènent la mort par la fatale pression qu'ils exercent sur la substance si tendre du cerveau; la vérité est qu'ils tuent, en arrêtant mécaniquement la circulation. — Aussi voyons-nous que ces dépôts peuvent augmenter sans causer de grandes perturbations, là où la fontanelle demeure ouverte et où les sutures du crâne peuvent céder.

Une tumeur au cerveau qui n'aurait aucune suite fâcheuse, si celui-ci n'était point confiné, devient bientôt fatale, en occupant à l'intérieur du crâne une certaine place aux dépens des autres parties et en arrêtant ainsi la circulation.

Pour peu que la masse cérébrale, de même que les muscles dans certaines circonstances, acquierre ou perde du volume, cet effet devra avoir une influence

considérable sur les fonctions et la circulation cérébrales.

Des effets de la position sur la circulation.

Tant qu'un homme est debout, le cœur et les artères ont à pousser le sang jusqu'à la tête, en sens inverse de la pesanteur; s'il se place horizontalement et que l'impulsion du sang demeure la même, ce fluide devra y arriver avec une force plus grande, puisque la gravité n'oppose point alors de résistance. Ceci explique comment les maux de tête et les autres symptômes de plénitude dans les artères de la tête disparaissent dans la station verticale, et augmentent, au contraire, d'intensité dans la position horizontale.

Combien de personnes éprouvent pendant le jour un léger mal de dent qui devient intolérable au moment où elles se couchent, et qui éprouvent ensuite un soulagement très-sensible lorsqu'elles se relèvent la nuit pour marcher dans la chambre; elles supposent, en général, que c'est le froid qui calme leur douleur, et ce n'est réellement que le changement de position. L'auteur a connu une dame qui se trouva pendant plusieurs mois dans la nécessité de dormir assise, parce qu'elle éprouvait un tic douloureux dans la face à l'instant où elle prenait une position horizontale. Une autre personne du même sexe, qui avait eu une inflammation cérébrale, se décida à demeurer fort long-temps dans la même situation que celle-ci, à la suite de sa maladie; lorsque, pendant le sommeil, sa tête venait à s'abaisser, elle était immédiatement assaillie par des rêves épouvantables d'épées nues qu'on lui passait et repassait à travers le cerveau.

On voit quelquefois dans les accès de fièvre le délire cesser à l'instant même où on élève la tête du malade.

Cette observation a conduit quelques praticiens à proposer de maintenir occasionellement les malades dans la position verticale.

L'apoplexie est souvent la suite de la position que prend un homme pour nouer les cordons de ses souliers ou pour passer ses bottes.

Les enfans et les faiseurs de tours, qui ont l'habitude de placer leur corps dans toutes les positions, ne ressentent aucun inconvénient à se retourner les jambes en l'air;— probablement parce que les artères et les veines acquièrent une force suffisanto pour résister à la pression habituelle; une telle position deviendrait fatale au plus grand nombre de vieillards.

Les ulcères aux jambes ne sont si obstinés et ne saignent aussi souvent que parce que les veines environnantes sont trop faibles pour supporter les hautes colonnes de sang qui les surmontent; ceci démontre l'utilité de placer, en pareil cas, les jambes sur une chaise.

La plupart des inflammations des jambes et des pieds deviennent excessivement douloureuses lorsque ces membres sont dans une position pendante, et le malade éprouve un soulagement marqué en les disposant horizontalement.

On remarque que dans les hydropisies des jambes, l'enflure augmente vers le soir, parce que la position des jambes pendant le jour est un obstacle à l'action des absorbans qui ne peuvent alors soulever le fluide. Cette enflure disparaît, au contraire, le matin.

Lorsque le cœur doit projeter le sang de haut en bas, il lui faut agir avec plus de force que lorsque le corps est placé horizontalement, et le pouls acquiert cinq ou six battemens de plus par minute; de là vient l'usage de faire prendre cette dernière position à un

homme affecté d'une hémorragie ; car alors le cœur devient plus tranquille et l'écoulement sanguin cesse plus promptement.

De la Syncope par suite d'un décroissement de tension artérielle.

La *syncope*, qui n'est que la cessation momentanée de l'action du cœur, et, par suite, de celle du cerveau ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus, est produite par des causes diverses, mais entr'autres par toutes les circonstances qui peuvent diminuer la tension des vaisseaux sanguins qui avoisinent le cœur. Il semble que ce viscère, accoutumé à un certain degré de résistance lorsqu'il se contracte, éprouve une perturbation toutes les fois que cette résistance diminue sensiblement.

Ainsi, l'hémorragie, qu'elle dérive d'une cause ou d'une autre, amène presque toujours la syncope, parce qu'elle diminue la tension générale du système. On y remédie en étendant le malade; probablement parce que l'action du cœur, toute faible qu'elle puisse être, suffit pour projeter le sang jusqu'au cerveau dans la position horizontale, et cela jusqu'à ce que la contraction graduelle de tout le système vasculaire ait ramené la tension voulue. — Une petite quantité de sang enlevée *subitement* affecte tout autant la circulation qu'une plus grande quantité qu'on extrait *graduellement;* — ce qui est dû sans doute à ce qu'il faut un certain temps pour que les vaisseaux diminuent de calibre.

La ponction à l'abdomen, dans les cas d'hydropisie, amènerait presque toujours la syncope, si l'on n'avait point la précaution de serrer le corps par un large bandage, à mesure que l'eau s'écoule; on conçoit, en effet, que cette extraction subite d'une grande quantité de fluide qui, par sa compression sur les vaisseaux abdo-

minaux, ne leur permettait peut-être de se remplir qu'à moitié, les replace subitement dans leur état naturel, et produit ainsi une laxité momentanée dans les autres parties du système vasculaire.

Les accouchemens subits déterminent souvent la syncope, et par les mêmes causes.

Les personnes faibles ou celles qui restent trop longtemps au lit, se sentent presqu'évanouir lorsqu'elles passent de la position horizontale à la station verticale; — ce qu'on peut attribuer à ce que le cœur n'exerce point à l'instant même l'excès de force nécessaire pour projeter le sang contrairement à la direction de la pesanteur; — d'ailleurs, le sang éprouve alors le même genre d'obstacle pour revenir au cœur, à travers les veines, des parties inférieures du corps.

Ces divers faits, aujourd'hui bien compris, démontrent la sagesse de cette pratique moderne, qu'on peut regarder comme un des plus grands perfectionnemens de l'art de guérir, et qui consiste à extraire le sang, dans les cas d'inflammation, avec toute *la rapidité* possible : mais ce sujet mérite que nous nous y arrêtions un moment.

Le plus grand nombre des maladies sérieuses impliquent l'inflammation dans quelque organe vital; et l'inflammation, ainsi que nous l'avons dit plus haut, consiste principalement en une distension extrême des vaisseaux capillaires de la partie affectée. La nature des capillaires d'ailleurs (*v.* ci-dessus) est telle qu'ils se vident d'eux mêmes, et par leur action propre, dans les veines, lorsque la pression du cœur qui s'exerce en-deçà de ces systèmes ne les maintient pas constamment pleins; — c'est ce que prouvent, et la disparition de toute inflammation locale peu après la mort de l'individu, et la viduité des artères après la cessation de la respira-

tion, etc. Or, depuis que la médecine a pris rang parmi les arts, les praticiens n'ont cessé de regarder la lancette comme leur maîtresse ancre dans les maladies inflammatoires; il est vrai que c'est seulement dans les temps modernes, c'est-à-dire depuis la découverte de la circulation, qu'on a pu s'expliquer ses effets, qu'on a compris qu'elle agissait en diminuant la tension vasculaire, et, par suite, l'action du cœur, et en permettant aux petits vaisseaux de se vider par leur action propre, et de recouvrer une force suffisante pour s'opposer au retour d'une surcharge. C'est même encore plus récemment qu'on a remarqué combien plus promptement et plus sûrement on obtenait le soulagement du malade par une saignée assez *subite* pour amener la syncope, et cependant peu abondante, que par une extraction lente et copieuse qui n'amène que la faiblesse. Un traitement judicieux fait donc disparaître aujourd'hui une inflammation bien plus sûrement qu'on n'y parvenait autrefois, et cela avec une moindre dépense d'un fluide précieux dont la perte réitérée traînait à sa suite des maladies de langueur, et quelquefois la destruction complète de la constitution du malade. Pour amener la syncope, on pratique de *grandes ouvertures* aux veines; — l'on saigne souvent de deux veines à la fois, et l'on soutient le patient dans une attitude verticale. C'est ainsi qu'un œil enflammé et d'un rouge écarlate avant la saignée revient en quelques minutes à son état naturel; c'est de la même manière qu'on porte remède à des inflammations intenses du cerveau, des poumons, etc. Dans tous ces cas, la syncope paraît être également efficace, soit qu'elle survienne après une perte de 10 onces ou de 50, soit même, ainsi qu'il arrive quelquefois, qu'elle ait précédé la saignée et ait eu lieu pendant les préparations nécessaires.

En réfléchissant sur ces diverses circonstances, l'auteur a été conduit à penser que, dans certains cas, on parviendrait aux résultats qu'on désire obtenir par une ventouse sèche, mais *étendue* (*Voyez* Pneumatique); c'est-à-dire, en diminuant la pression atmosphérique sur une portion considérable de la surface du corps, et en éloignant ainsi du cœur, pour un certain temps, une quantité suffisante de sang pour déterminer la syncope. Les résultats de ses expériences ont augmenté l'intérêt qu'il devait prendre à ces recherches, dont il s'occupera aussi activement que ses loisirs le lui permettront. — On applique sur un membre une boîte de cuivre ou de ferblanc imperméable à l'air, dans laquelle on fait un vide partiel, à l'aide d'une pompe à exhaustion convenable à l'objet qu'on se propose; en un instant les vaisseaux des membres acquièrent une légère distension aux dépens des parties centrales du corps qui péchent alors subitement par défaut, et la syncope est déterminée tout aussi bien que si l'on eût saigné une veine. L'excès du sang peut être retenu dans le membre aussi long-temps qu'on le désire, car la circulation n'est point arrêtée; toutefois, pour produire des effets puissans, à l'aide d'une légère diminution de pression, il est nécessaire d'opérer sur plusieurs membres à la fois.

Il y a environ vingt ans qu'un homme, qui n'était point médecin, fit connaître un instrument à peu près semblable à celui dont nous venons de donner une idée, et à l'aide duquel il prétendait *extraire* du corps un très-grand nombre de maladies à travers les pores de la peau. Il renfermait la jambe, par exemple, dans une enveloppe imperméable à l'air; introduisait de la vapeur dans cette enveloppe pour échauffer le membre, et relâcher les pores de la peau, comme il le disait, puis à l'aide d'un appareil d'exhaustion, il *pompait* la maladie

au dehors. Il avait donné à son appareil le nom de *bain de vapeur — pompe d'exhaustion* (*air pump vapour-bath*); et bien qu'il n'en comprît point l'usage réel, qu'il ne l'employât point d'une manière judicieuse, il en obtint quelquefois de bons résultats, comme on doit le concevoir.

L'action du cœur est encore influencée, lorsqu'on applique des bandages autour des membres de manière à gêner le passage du sang de départ et de retour : on prétend avoir prévenu ainsi le retour d'accès de fièvre; ce serait un moyen curatif analogue à ceux que nous avons décrits.

Comme les artères sont plus fortes et plus tendues que les veines, on peut, avec un bandage, soumettre un membre à une constriction telle, que les veines seules se ferment, les artères restant ouvertes, et il y a alors enflûre au-delà de la ligature. Dès-lors, on voit qu'il serait encore possible de soustraire subitement à la circulation une assez grande masse de sang pour déterminer la syncope en serrant tous les membres à la fois sous des bandages élastiques, et en les plongeant dans l'eau chaude pour aider la dilatation de leurs vaisseaux.

C'est de la même manière, c'est à-dire, en gênant le retour du sang veineux qu'une cravate ou un col trop serrés déterminent une apoplexie. — Une forte pression exercée sur les jugulaires amène aussi infailliblement la mort que si l'on fermait la trachée-artère.

Toute *hernie*, ou tumeur étranglée, détermine une enflûre qui se gangrène si l'on n'y porte point remède.

Toute pression étendue telle que celle qu'on exerce sur un membre, en l'entourant entièrement par des bandages, ou en le plongeant dans un fluide, doit affecter la circulation, et les veines seront toujours plus com-

primées que les artères, puisque leur tension ou la force avec laquelle elles résistent à la compression est moindre; cette remarque autorise l'usage des bandages et des bas lacés pour les personnes affectées de varices. Ce qui fait que ces supports assistent si puissamment le médecin dans le traitement d'ulcères aux jambes, c'est que très-probablement leur action s'exerce sur les capillaires et les absorbans aussi bien que sur les plus gros vaisseaux.

Les cataplasmes, par leur seul poids, produisent quelquefois une légère compression sur les parties où on les applique, et peuvent, dans quelques circonstances, être utiles par leur seule action mécanique sur les vaisseaux affaiblis, qu'ils débarrassent ainsi de l'excès du sang qu'ils contiennent.

L'auteur a guéri une inflammation chronique, suite d'une entorse de la cheville, en faisant placer pendant une heure environ le pied et la jambe couverts d'un bas de soie gommée, dans une botte assez forte pour résister à la pression du mercure qu'on y introduisait. — Ce métal fluide ne produit d'autre effet sur les vaisseaux faibles qu'une compression de 13 grammes et demi environ par centimètre carré de surface, pour chaque centimètre de hauteur mercurielle au-dessus de la partie plongée; une hauteur de un décimètre environ, ou, ce qui revient au même, une compression de 135 grammes par centimètre carré sont suffisantes en pareil cas; une hauteur beaucoup plus grande arrêterait complètement la circulation. Il n'est point de bandage qui puisse presser avec l'uniformité si parfaite d'un fluide.

L'effet des pressions continues dans le traitement des tumeurs morbides de divers genres, s'explique de la même manière; l'auteur ne doute point qu'en pareil cas une pression sagement ménagée ne soit un moyen

curatif beaucoup plus estimable qu'on ne le pense généralement aujourd'hui. — Le demi-cercle d'acier, terminé en avant et en arrière par une pelotte, telle enfin qu'on l'a récemment employé contre les hernies, est un admirable moyen de produire une pression uniforme, d'une force d'ailleurs quelconque, sur la poitrine des femmes.

Lorsqu'un homme est debout dans un bain, ayant de l'eau jusqu'au menton par exemple, toutes les parties de son corps se trouvent soumises à une pression qui dépend de leur profondeur au-dessous du niveau (hydrostatique), et cette pression doit avoir une influence considérable sur les vaisseaux sanguins des parties inférieures. Il y a donc, toutes les fois qu'on se baigne, refoulement du sang des veines externes du corps vers la cavité thoracique que la pression ne peut atteindre : c'est cet effet qui produit le sentiment d'oppression qu'on éprouve au moment où l'on plonge, et qu'on attribue ordinairement à un changement subit de température. Cette ancienne pratique qui consistait à placer un patient dans une fosse, et à l'inhumer jusqu'au cou avec de la terre ou du sable, produisait sans doute des effets mécaniques du genre de ceux qui nous occupent, indépendamment de toute autre influence.

La *transfusion du sang* de la veine d'un homme en bonne santé dans celle d'une personne qui s'évanouit ou se meurt, par suite d'une hémorragie, est une opération inverse de celle dont nous avons parlé ci-dessus, et qu'on a souvent pratiquée avec succès. Les cas qui semblent s'y prêter le mieux sont ceux des hémorragies abondantes, qui suivent souvent l'accouchement, et les cas de blessures graves ; on ne peut douter aujourd'hui que l'adoption plus générale de ce moyen curatif n'ait par la suite les plus heureux résultats. — Le sang à in-

jecter est reçu dans un vase, comme dans la saignée ordinaire, on le transvase de là à mesure qu'il s'écoule dans une des veines du patient, ouverte dans ce but, et l'on emploie pour cela une seringue convenable, que nous décrirons plus loin. Toute admission, ou introduction d'air avec le sang aurait des conséquences funestes, et l'on ne saurait prendre assez de précautions pour l'éviter. Le dernier travail important sur la transfusion du sang est celui du docteur Blundell; voyez ses *Essais Physiologiques*.

DE LA RESPIRATION ET DE LA PHONATION.

Nous nous proposons dans ce chapitre de faire l'application des lois qui régissent les fluides, aux fonctions de la respiration, et au mécanisme de la voix, et de faire ressortir de cet examen de nouveaux développemens de ces lois générales.

De même que le mouvement d'un moulin à vent est entièrement dépendant de la brise qui tourne ses ailes, on peut dire que le mouvement et la vie de cette admirable machine, le corps humain, dépendent aussi d'une certaine quantité d'air qu'il faut sans cesse y introduire, dont on ne peut le priver, même pendant une durée de peu d'instans, sans le jeter dans des convulsions douloureuses, et qu'on ne peut lui refuser plus long-temps sans convertir un chef-d'œuvre de beauté et de perfection en une masse inerte, dont s'emparent bientôt la putréfaction et le néant.

Nous avons étudié dans la pneumatique les propriétés mécaniques de l'air; nous avons constaté son poids, reconnu son élasticité, et nous avons montré qu'il formait

autour de la terre une couche ou enveloppe de quinze lieues d'épaisseur environ ; il nous resterait à faire connaître de quelle manière il agit pour entretenir la vie chez les animaux : malheureusement son mode d'action n'est point encore connu sous ce rapport, c'est une question qu'éclairciront sans doute plus tard les travaux des chimistes et des physiologistes ; tout ce que nous savons, à cet égard, c'est que ce principe constituant de l'atmosphère, qu'on appelle *oxigène*, et qui en forme le cinquième, est le plus essentiel à la vie, — que l'air qui a servi une seule fois devient impropre à la respiration, — et qu'un homme consomme environ quatre litres et demi de ce fluide par minute. L'entreprenant, M. Spalding, qui introduisit l'usage de la cloche à plonger, descendit pour la dernière fois avec un compagnon sur la côte de l'Irlande ; la corde de signal s'étant enroulée autour de la grosse corde qui supportait la cloche, par suite de la rotation que celle-ci avait prise pendant la descente, il leur fut impossible de faire connaître en haut le besoin d'air qu'ils éprouvaient, et lorsque, peu de temps après, on les remonta, on les trouva morts l'un et l'autre, bien que l'eau ne les eût point atteints. — Sur cent quarante-six Anglais faits prisonniers à Calcutta, en 1750, et jetés dans cette horrible prison, qu'on appela depuis le *trou noir*, vingt-trois seulement survécurent de quelques heures à cet emprisonnement, et ils eurent à faire l'un des plus épouvantables récits qu'on puisse imaginer.

Ce que nous savons encore de l'action de l'air dans l'entretien de la vie, c'est qu'elle consiste en un changement qui s'opère dans le sang à l'aide de ce fluide, et que la fonction de la respiration est uniquement de rapprocher l'air et le sang dans la cavité de la poitrine, de manière à amener cette modification importante ; le

sang, au moment où il traverse la poitrine parcourt cette partie de son cercle à travers des vaisseaux d'une ténuité extrême qui le divisent en quelque sorte, afin que chaque globule soit soumis à son tour à l'action de l'air qui se précipite dans le thorax au moment de l'inspiration. Il résulte de ce contact que le sang, qui, après avoir accompli ses hautes fonctions dans toutes les parties du corps, revenait, vers cette cavité, noir et impur, y acquiert immédiatement la couleur de la brillante écarlate, et entre alors dans le ventricule ou la chambre gauche du cœur pour en repartir porter la vie dans les plus petites parties du système.

Les petits vaisseaux à travers lesquels le sang est refoulé dans la poitrine, ne sont point librement suspendus dans cette cavité; ils sont, au contraire, supportés par des masses spongieuses qu'ils traversent et pénètrent, et qu'on appelle les poumons, masses qui se composent principalement de ces vaisseaux et d'une membrane mince disposée en cellules. Ces cellules, à chaque inspiration, reçoivent de l'air frais par le canal cartilagineux de la trachée-artère qui se ramifie entre elles, et rejettent dans l'atmosphère, à chaque expiration, la portion de cet air modifié par la respiration elle-même. Les poumons de l'enfant, avant la naissance, sont parfaitement contractés ou affaissés, c'est-à-dire qu'ils ne renferment pas la plus faible quantité d'air; aussi sont-ils assez denses pour ne point surnager l'eau; après la respiration, au contraire, ils retiennent une portion d'air et peuvent flotter à la surface du liquide. Ce fait a servi de base à la médecine légale; on y a vu un moyen de résoudre la question de savoir si un enfant était venu au monde mort ou vivant; c'est un indice cependant auquel il serait dangereux de se fier, car la putréfaction, etc., peuvent introduire de l'air

dans des poumons qui n'ont jamais servi à la respiration.

La poitrine est une vaste cavité bornée supérieurement et latéralement par les côtes, l'épine et le sternum, et inférieurement vers l'abdomen ou le ventre par une forte expansion membraneuse et musculaire qu'on appelle le diaphragme; les côtes, dans l'état naturel, ainsi que nous l'avons dit page 234 *de la Mécanique des Solides*, s'articulent avec l'épine dans une direction un peu oblique; il en résulte que lorsqu'elles s'élèvent, ou, ce qui revient au même, lorsqu'elles se rapprochent d'une direction perpendiculaire à l'épine, elles augmentent la capacité de la poitrine et font avancer le sternum. Cette cavité s'accroît encore par l'abaissement du diaphragme, espèce de plancher interposé entr'elles et l abdomen, et qu'on peut regarder comme le toit de ce dernier; la voûte de cette espèce de dôme, dont la convexité est tournée en haut, se surbaissant, il en résulte à la fois augmentation de capacité pour la poitrine et diminution pour l'abdomen.

La cavité de la poitrine ayant acquis un certain volume par l'élévation des côtes et l'abaissement du diaphragme, ou seulement par l'une ou l'autre de ces actions, l'air s'y précipite à travers la bouche et la trachée-artère, précisément comme à travers la douille d'un soufflet ordinaire lorsque la soupape est fermée et qu'on en écarte les plateaux; et il en est ensuite chassé par la contraction ou le rétrécissement du thorax, comme il l'est encore d'un soufflet lorsqu'on applique les plateaux l'un contre l'autre. On peut suivre cette comparaison jusqu'au bout; car, dans la poitrine comme dans le soufflet, l'introduction de l'air extérieur est la suite de la dilatation qu'éprouve celui de l'intérieur, ou, ce qui revient au même, de ce que la tension de celui-ci di-

minuant, il ne peut résister à la pression externe de l'atmosphère qui pousse immédiatement à l'intérieur la portion d'air nécessaire au maintien de l'équilibre; — l'air est ensuite repoussé au dehors par la contraction ou le rétrécissement des cavités qui, en le comprimant, augmente assez sa force élastique pour lui permettre de vaincre celle qu'il éprouve à l'orifice de la part de l'atmosphère, et dès-lors de s'échapper en partie. — On parvient à rendre ces phénomènes très-sensibles, en plongeant dans l'eau un soufflet ordinaire et le faisant agir convenablement.

Pour que l'air admis dans la poitrine eût la plus grande action possible sur le sang, il était nécessaire que la masse spongieuse des poumons dans lesquels les vaisseaux se ramifient, occupât la cavité totale et s'y distribuât également. Il a été satisfait à la seconde de ces conditions par l'élasticité uniforme du poumon, par l'expansibilité qui le distingue; quant à la seconde, la réplétion complète de la cavité, il n'y a point été pourvu, comme on pourrait le croire, par des adhérences entre les poumons et les côtes ou les parois de la poitrine, mais par le moyen suivant qui est également simple et cependant plus parfait : la masse spongieuse des poumons est complètement recouverte par une forte membrane adhérente qu'on appelle la plèvre, et dont on peut comparer la texture à celle d'une vessie : entre cette membrane et celle qu'on pourrait appeler la doublure de la poitrine, il n'existe ni air, ni espace vide; il résulte de cette disposition que les côtes, en s'élevant et en s'abaissant lors de la respiration, entraînent cette membrane avec elles, et qu'il y a toujours contact entre celles-ci et celle-là. Il en serait absolument de même d'une vessie introduite en guise de doublure dans un soufflot, et dont l'ouverture serait fixée autour

de la douille : car il y aurait encore ici contact entre les parois internes du soufflet et les parois externes de la vessie, dans tous les états de dilatation, et précisément comme si ces parois adhéraient les unes aux autres à l'aide de plusieurs milliers d'attaches. Cette construction laisse au jeu des poumons une liberté singulière pendant tous les mouvemens du corps, liberté qu'accroît encore leur division. Ces masses spongieuses, en effet, se partagent en cinq portions distinctes ou lobes, dont trois occupent le côté droit de la poitrine et deux seulement le côté gauche, le cœur prenant de ce côté la place du troisième lobe qu'exigerait la symétrie; les cavités droite et gauche de la poitrine sont d'ailleurs séparées par une forte membrane, appelée *médiastin*, et qui les rend tout-à-fait distinctes l'une de l'autre; il résulte de cette disposition mécanique des diverses parties de la poitrine certains effets qu'il est important de bien comprendre; — par exemple,

Dans les cas de blessures faites d'un seul côté de la poitrine, et assez profondes pour y laisser pénétrer l'air extérieur, les poumons, de ce côté, s'affaissent en vertu de leur poids et de leur élasticité; et lorsqu'ensuite la poitrine augmente ou diminue de capacité pendant l'acte de la respiration, l'air pénètre avec plus de facilité, à travers la blessure, jusque dans l'espace laissé autour du poumon affecté, qu'il ne peut entrer dans le poumon lui-même par la trachée-artère; — il en est de même de sa sortie; on conçoit facilement qu'il doit en être ainsi, puisque, dans le premier cas, il n'a aucune force à vaincre, tandis que dans le second il trouve autant d'obstacles dans l'élasticité, le poids et l'inertie du poumon. Si la blessure était double, c'est-à-dire si les deux côtés de la poitrine avaient été transpercés d'un seul coup, on voit que, quand bien même rien ne serait

compromis à l'intérieur, le blessé devrait suffoquer, puisqu'alors la totalité des poumons s'affaisserait. Ce qu'il y aurait à faire en pareil cas serait de presser ou de déprimer les côtes, afin d'expulser de la poitrine la plus grande quantité d'air possible; puis de fermer les blessures pendant le mouvement d'inspiration, c'est-à-dire pendant que les côtes se relèveraient; il est clair que l'air entrerait alors par la voie naturelle, la seule qui lui soit laissée pour pénétrer dans la poitrine, qu'il y distendrait les poumons et agirait à la manière ordinaire sur le sang des vaisseaux pulmonaires. On parvient à expulser tout l'air qui aurait pu pénétrer par une blessure à la poitrine, en excitant les muscles aux mêmes efforts que lorsqu'on souffle violemment, et empêchant en même temps l'haleine de s'échapper par le nez ou par la bouche. On trouve dans le *Système de Chirurgie* de Benjamin Bell, ouvrage qui a été long-temps le guide des praticiens, des conseils précisément inverses de ceux-ci; qu'en conclure? que cette erreur a terminé l'existence des blessés qu'on aura traités d'après lui.

Dans les cas où une blessure à la poitrine amène une hémorragie dangereuse du poumon, il faut laisser celui-ci s'affaisser, comme nous venons de le dire, et ne fermer la blessure, c'est-à-dire ne rendre au poumon son jeu naturel que lorsque le danger n'est plus à craindre; l'un des poumons suffit pour entretenir la vie pendant un certain temps.

On pourrait quelquefois prolonger ou même conserver l'existence dans les cas d'hémoptysie ou d'hémorragie spontanée des poumons, en faisant une ouverture entre deux côtes, afin d'amener l'affaissement de ceux-ci. — On découvre souvent ainsi le poumon affecté, et l'ouverture, si elle est bien faite, n'est pas plus dangereuse que celle qu'on pratique pour débarrasser

la poitrine de dépôts aqueux ou puriformes. On a tenté la même opération comme dernière ressource dans les consomptions pulmonaires. Cette maladie est souvent limitée au poumon d'un seul côté; et comme les contractions et les dilatations successives qu'il éprouve dans la respiration, et de plus le contact de l'air, sont de puissans obstacles à la guérison des ulcères ou des inflammations, il peut y avoir quelques avantages à laisser affaisser le poumon malade, ou, si l'on veut, à le laisser se reposer. — On cite quelques cas où l'on prétend que cette opération a complétement atteint son but; elle mérite certainement d'être tentée lorsque les circonstances sont favorables et qu'il n'y a plus d'autre ressource.

C'est la coutume dans les fractures de côtes de disposer un bandage autour de la poitrine, de manière à empêcher presque totalement, pendant une certaine durée, leurs mouvemens respiratoires; la respiration s'effectue alors presque complètement par les élévations et les abaissemens du diaphragme, qui, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, augmente et diminue successivement la cavité, dont il forme en quelque sorte la base. Cette coutume est très-sage, et cette contrainte à laquelle on assujettit celui qui a les côtes brisées, doit tourner à son avantage; mais ne serait-ce point le comble de la folie ou de la cruauté que de comprimer ainsi un être bien portant, que de détruire sa santé en s'opposant à la plus importante de ses fonctions, la respiration. Tel est cependant le but des corsets de nos dames!

Nous avons vu dans la dernière section que l'homme bien portant pouvait exercer, par la seule action de son souffle, une pression d'environ 60 grammes par centimètre carré, c'est-à-dire que sa poitrine pouvait condenser avec cette force la portion d'air qu'elle renferme, et que

par conséquent il lui était permis de chasser cet air à travers un tube dont l'orifice inférieur serait plongé de six décimètres au-dessous du niveau de l'eau. — Sa puissance de succion ou d'aspiration est à peu près la même ; — mais dans l'un et l'autre de ces actes on parvient à n'employer que la cavité de la bouche, indépendamment de celle de la poitrine, et comme elle est plus petite et armée de muscles plus forts, elle agit beaucoup plus puissamment. — Il est tel homme qui, à l'aide de sa bouche seule, produit un vide presque parfait, c'est-à-dire qu'il parviendrait par cette succion à élever l'eau jusqu'à près de trente pieds de hauteur. — On sait que les artistes qui emploient le chalumeau, obtiennent un courant continu en fermant la bouche par derrière au moment où ils inspirent, et la remplissent autant qu'il est nécessaire pendant les intervalles.

Dans la *toux*, la *glotte* ou la partie supérieure de la trachée-artère, par une curieuse sympathie, se ferme d'abord un moment, pendant que la poitrine comprime et condense l'air dont elle est chargée; la glotte s'ouvre alors, et il se produit une petite explosion d'air comprimé qui balaye les passages de l'air et les débarrasse des matières irritantes qui pourraient y être engagées. — Il y a quelque rapport entre cet effet et l'action du fusil à vent, qui lance le projectile au moment où on ouvre la soupape, lorsque d'ailleurs l'air de la crosse est suffisamment comprimé. — Cette occlusion de la glotte destinée à faciliter la condensation de l'air dans la poitrine, et son retour subit à sa position naturelle pour permettre la décharge, peuvent se succéder à des intervalles très-courts, et même un grand nombre de fois pour une seule inspiration, ainsi qu'on le remarque dans la coqueluche. — La toux est souvent l'effet d'une irritation à laquelle son action propre ne peut remédier : l'inflammation des pou-

mons par exemple, des tubercules, la dentition ou une surcharge de l'estomac.

L'*éternuement* est un phénomène qui a de l'analogie avec la toux ; seulement, la poitrine se vide d'un seul jet, et plutôt à travers le nez qu'à travers la bouche. L'irritation qui produit l'éternuement a généralement son siége dans le nez, cependant il est quelquefois la suite de sympathies distantes ; celle de la présence de vers dans les intestins, par exemple.

Le *rire* n'est autre chose que la succession d'un certain nombre d'expirations saccadées, accompagnées d'un son dont la désinence est généralement en *o* pour les hommes, et en *i* pour les femmes. — Il n'y a jamais dans le rire, comme dans la toux, occlusion complète de l'orifice de la trachée-artère.

Le *pleurer* ne diffère presque du rire que par la longueur de l'intervalle entre les expirations. — Les enfans rient et pleurent d'une seule haleine, on pourrait dire, et il est souvent difficile de distinguer chez eux l'instant du passage du rire au pleurer.

Le *hoquet* est une suite de l'occlusion subite de la glotte à l'origine d'une forte inspiration : si l'effort inspirateur se continue, il peut introduire dans l'œsophage ou l'air de l'atmosphère, ou les substances à demi digérées contenues dans l'estomac.

Dans *les efforts*, pour soulever un poids par exemple, ou pour agir avec vigueur contre une masse quelconque, on renferme l'air dans les poumons, pour soutenir le thorax, le rendre immobile et en faire un point d'appui solide pour les muscles qui doivent entrer en action. — A cet instant, la compression et la condensation de l'air dans les environs du cœur et des gros vaisseaux sanguins, tendent à projeter le sang avec violence de la poitrine aux extrémités, et il parvient souvent à la

tête avec assez de force pour produire des étourdissemens, ou même pour déterminer l'apoplexie. — S'il arrive quelquefois, pendant de grands efforts, qu'un des petits vaisseaux de l'œil vienne à crever et le rougisse de sang, et que des plaies de sangsues se rouvrent tout à coup. — Cette pression, ainsi que nous l'avons dit plus haut, est mesurée par une colonne de sang de six décimètres de hauteur. — Telle est donc, en pareille circonstance, la tension additionnelle dans les veines et les artères.

Il y a *suffocation* toutes les fois que le passage de l'air aux poumons est intercepté. — Le sang n'étant plus revivifié par son contact avec le fluide atmosphérique, monte au cerveau sans être en état d'accomplir ses importantes fonctions, et l'on éprouve immédiatement une confusion dans les idées, qui ne tarde point à être suivie de convulsions et de la mort.

Lorsque l'étouffement est la suite d'une obstruction mécanique à l'étroit orifice de la trachée-artère, comme dans le croup par exemple, on peut sauver la vie du patient en pratiquant au cou, un peu au-dessous de la partie obstruée, une ouverture de communication entre la trachée-artère et l'air extérieur, ouverture dans laquelle on introduit un petit tube pour la maintenir béante. — Les enfans qui sont emportés par le croup, ne sont pas plus fréquemment victimes de la maladie elle-même que de l'obstruction mécanique, qui résulte d'un amas de mucosités dans les étroits passages de l'air.

La strangulation et le supplice du gibet déterminent la mort en enfonçant de dehors en dedans et sur eux-mêmes les anneaux cartilagineux de la trachée-artère, et fermant ainsi tout passage à l'air. — Ils peuvent aussi produire l'apoplexie, car la ligature de la corde est un obstacle capable d'arrêter le mouvement ascendant ou

descendant du sang de la tête. — Enfin, il peut y avoir luxation des vertèbres cervicales.

Dans l'*étouffement par submersion*, comme lorsqu'on se noie, toute communication avec l'air extérieur est interceptée par le liquide. — Si la poitrine se dilate pendant l'immersion, elle ne peut recevoir que de l'eau au lieu d'air. — Cependant les nerfs et les muscles de l'orifice de la trachée-artère sont tellement irritables, qu'ils sont à l'instant même excités par le contact de toute matière étrangère, de sorte qu'ils interceptent le passage au liquide extérieur. C'est en partie à cette circonstance qu'il faut attribuer le retour à la vie des personnes qu'on retire de l'eau après une submersion de peu de durée, quoiqu'elles présentent en apparence tous les signes de la mort.

Au nombre des appareils de la SOCIÉTÉ D'HUMANITÉ, on compte un soufflet destiné à produire une respiration artificielle : il y a cette différence entre l'instrument de la société et le soufflet ordinaire de nos foyers, que la soupape au lieu d'être intérieure comme dans ceux-ci, est au contraire extérieure ; on en prendra une idée juste si nous disons que cette soupape ressemble, et pour la forme et pour la disposition, à une grande clef de flûte ; elle est comme cette clef maintenue fermée par un ressort qui obéit à la pression du doigt. — Voici comment on manœuvre cet instrument : — on ouvre la soupape, et l'on écarte les plateaux, le soufflet se remplit d'air ; on introduit cet air dans les poumons en fermant la soupape et rapprochant les plateaux ; la soupape restant fermée, on déploie de nouveau le soufflet, et il se charge alors de l'air impur de l'intérieur ; on ouvre la soupape en le reployant, et cet air impur s'échappe dans l'atmosphère ; la soupape restant ouverte, on le déploie de nouveau ; il se remplit d'air..... , et ainsi de

suite, ce qui produit la respiration artificielle. — Il est très-important de faire remarquer ici que si l'injection d'air dans le poumon était ou trop abondante ou trop subite, au lieu de rappeler le noyé à la vie, on le tuerait tout aussi infailliblement qu'en lui plongeant un poignard dans le cœur. Cette vérité, trop malheureusement, n'est reconnue que depuis peu, et l'on ne peut échapper aujourd'hui à cette terrible conséquence que, pour l'avoir ignorée, on a décidé de l'existence d'un grand nombre de personnes, et par les moyens mêmes qu'on employait pour les rappeler à la vie. — L'opérateur ne doit jamais perdre de vue qu'il dilate les cellules délicates du poumon avec la force d'une presse hydraulique, et que si l'injection est trop brusque, quand bien même elle serait peu abondante, il court le risque de briser une infinité de petits vaisseaux avant qu'ils aient pu se vider au point de céder à la compression. Il serait utile de munir les douilles de ces soufflets d'un robinet destiné à régler la vitesse de l'air d'introduction, et d'en proportionner l'ouverture à la capacité de la poitrine du patient.

Outre ce moyen qui, sagement employé, ramène la respiration, il est souvent nécessaire de rappeler la chaleur naturelle du corps, de faire des frictions sur les membres pour aider à la circulation, d'administrer des stimulans par la bouche, et d'exciter des commotions galvaniques, etc.

Ces secours aux noyés toutefois perdent souvent de leur efficacité, par suite de la faute qu'on commet en employant de l'air froid pour les rappeler à la vie, au lieu d'air chaud qui peut seul convenir au but qu'on se propose. — Ne voit-on pas en effet que tout en cherchant à ramener, par des moyens externes, la température de la vie, on agit intérieurement de manière à

refroidir une surface plus étendue que la surface externe du corps, et que tant que cette action réciproque de l'air et du sang ne s'est point rétablie, chaque portion d'air introduite par le soufflet emporte avec elle une partie de la chaleur centrale qui pourrait encore exister, et prive ainsi le corps d'une quantité de calorique assez grande pour empêcher le retour à la vie. — Cette même action du soufflet, qui ranime un feu qui avait encore quelque reste de vigueur, l'éteint à l'instant même s'il est, comme on le dit, un peu trop bas. — Il serait très-facile d'échauffer l'air qu'on destine à la respiration artificielle, en versant de l'eau bouillante dans le vaisseau qui le contiendrait, et mettant ce vase en communication avec le soufflet à l'aide d'un tuyau convenable. Il ne faut pas une quantité d'eau bouillante bien considérable pour élever la masse d'air nécessaire à la température du sang; non-seulement on éviterait par cet emploi de l'eau chaude les résultats funestes de l'air froid, mais on pourrait encore communiquer au malade une chaleur plus grande que celle de la vie, ce qui serait probablement le plus utile des stimulans pour les parties qui environnent le cœur. — On sait qu'un homme en bonne santé peut respirer impunément de l'air dont la température est beaucoup plus élevée que celle de l'eau bouillante.

Des recherches physiologiques récentes ont montré que la respiration, ou plutôt l'action mécanique de la poitrine dans cet acte important, était tellement dépendante du cerveau, que les perturbations de cet organe amenaient des perturbations correspondantes ou même une suspension totale de ses fonctions. — On s'est assuré d'ailleurs que l'action du cœur dépendait de la respiration, et non du cerveau, abstraction faite de son influence propre sur cette fonction. — C'est ainsi, par

exemple, qu'une respiration artificielle maintiendra la circulation et conservera la vie pendant un temps considérable, après que le cerveau aura complètement cessé d'agir, après même qu'il aura été séparé du corps. Or, des expériences récentes de M. Brodie, ont prouvé que l'action délétère de certains poisons n'était que la suite de leur influence sur le cerveau, dont ils suspendaient momentanément les fonctions, suspension dont résultait d'abord l'inaction de la poitrine, puis et par suite celle du cœur, qui déterminait la mort. On voit donc que si, en pareille circonstance, il était possible d'établir une respiration artificielle, il pourrait arriver que la circulation et la vie persistassent jusqu'à ce que le cerveau fût revenu graduellement à son premier état. — Voilà donc quelques cas d'empoisonnemens dont on désespérait autrefois, et dont il est permis aujourd'hui d'espérer mieux.

On a fait une application importante de cette admirable découverte au traitement des convulsions, principalement de celles qui affectent les enfans lors de la dentition, etc. — La respiration en effet cesse le plus souvent, dans ces circonstances, par suite d'une suspension dans l'action du cerveau; de sorte qu'en maintenant une respiration artificielle pendant un certain temps, on conserve la circulation et la vie jusqu'à ce que le cerveau revienne à son premier état, soit spontanément, soit par suite des moyens curatifs employés. — Cette pratique serait applicable dans le cas où les spasmes du cœur, chez les personnes faites, suspendent l'action du cerveau en arrêtant pendant un certain temps l'envoi du sang à cet organe.

La poitrine d'un enfant a une capacité relative si petite qu'une personne faite peut la remplir facilement avec l'air de la bouche et de la trachée qui n'est point

parvenu jusqu'au poumon, et qui dès-lors n'a pas été rendu impropre à la respiration; en la comprimant avec les mains, on en expulse ensuite l'air introduit, et la respiration artificielle s'établit avec facilité.—Il convient d'insuffler l'air ou directement dans la bouche de l'enfant à travers un mouchoir peu épais, ou de le faire passer à travers un tube qu'on introduit dans la narine ou dans la trachée. Il faut avoir le soin de presser le larynx contre l'œsophage pendant l'insufflation de l'air, afin de l'empêcher de passer dans l'estomac. Que ceux qui emploieraient ce remède ne perdent point de vue le danger qui résulte d'une insufflation trop abondante ou trop subite.

Quant au gaz et mélanges gazeux que l'on fait respirer dans certaines maladies, ce n'est plus un soufflet qu'on emploie, mais un sac de taffetas ciré ou un petit gazomètre (*voyez* Pneumatique). Lors de la découverte de la composition de l'atmosphère, on imagina que l'emploi de mélanges gazeux seraient d'une haute importance en médecine; ces espérances ne se sont point encore réalisées, mais les recherches de ce genre sont loin d'être épuisées, et il en résultera sans doute quelque découverte importante.

DE LA VOIX ET DE LA PAROLE.

La poitrine et les passages laissés pour l'entrée et la sortie de l'air, plus quelques parties additionnelles forment les élémens constitutifs de l'organe de la voix et de la parole.

Il est peu de faits plus dignes d'étonner le philosophe que cette faculté concédée à l'homme par la nature, d'associer les idées d'objets si divers avec un système de signes arbitraires, au point d'évoquer ceux-ci par ceux-

là, et réciproquement. On sait, par exemple, que les habitans de la Chine ont imaginé plusieurs milliers de caractères bizarres, auxquels ils ont affecté un objet particulier que leur image rappelle. Ne parait-il pas extrêmement singulier à l'homme qui n'a point fait une étude de ces caractères, que le Chinois, dont l'œil parcourt une longue série d'assemblages grotesques de droites et de courbes y voient une succession d'images agréables, de pensées profondes, un tableau de mœurs... et que, sous forme de lettres, ils aillent transmettre des idées d'une province à une autre, — qu'ils soient compris par le sourd et muet comme de celui qui parle, — qu'ils soient même intelligibles pour quelques hommes situés à plusieurs centaines de lieues de distance, dans des pays dont le langage usuel est complètement différent.

Mais s'il paraît surprenant que des idées ou des objets se réveillent ou se peignent immédiatement à l'esprit, à la seule inspection de signes visibles, permanens, et dont la forme a quelquefois une certaine analogie avec celle de la chose signifiée, que pensera-t-on de ces autres signes qui ne sont perceptibles qu'à l'oreille, de ces paroles, bruits fugitifs qui ne laissent aucunes traces, et dont la succession émeut tout un vaste auditoire, le fait assister à telle ou telle scène, le transporte en tel ou tel lieu, le domine, l'entraîne, l'irrite, y laisse enfin les impressions les plus profondes, bien qu'il n'y ait aucun rapport perceptible entre ces sons et ce qu'ils représentent. C'est à cette faveur spéciale, à la faculté de produire à volonté un nombre suffisant de sons distincts que l'homme doit le rang qu'il occupe dans la série des animaux. Cette haute intelligence dont il se glorifie, fût pour toujours restée inconnue sans cette faculté de rapprocher ses idées de celles de ses frères, s'il n'avait pu les combiner, les ordonner et

les fixer à l'aide des signes conventionnels. — En général, cependant, le langage écrit est d'un degré plus éloigné des choses qu'il rappelle que le langage parlé, car il n'est que l'ensemble des signes visibles d'autres signes qui ne sont perceptibles que pour l'oreille.

L'admirable appareil, à l'aide duquel l'homme produit tous les sons qu'il pourrait avoir à proférer, a reçu le nom d'organe de la parole, parce qu'on a appelé parole l'emploi des sons auxquels on a attaché une signification propre. Cet organe se compose de la poitrine, espèce de réservoir à air, du larynx, boîte cartilagineuse située à la partie supérieure de la trachée-artère qui règle les divers degrés de la voix du grave à l'aigu, et enfin, de la cavité buccale, espèce de tube flexible, variable en longueur et en capacité, et qui les modifie.

Nous avons vu dans l'acoustique que le son n'était autre chose que l'effet produit sur l'oreille par certains mouvemens vibratoires en général transmis par l'air jusqu'à cet organe, et nous avons expliqué comment l'air chassé des poumons à travers l'ouverture supérieure de la trachée-artère faisait vibrer les lèvres élastiques de cette ouverture et excitaient ainsi des vibrations; il nous reste à montrer comment le son qui en résulte peut être modifié de mille manières à la volonté de l'individu.

Les modifications de la voix facilement obtenues et bien distinctes pour l'oreille, c'est-à-dire telles qu'elles doivent être pour entrer dans les élémens du langage, s'élèvent à environ cinquante; mais il n'est pas une seule langue parlée qui en emploie réellement plus de la moitié. Ces modifications se divisent en deux classes parfaitement distinctes et à peu près égales : les *voyelles* et les *consonnes*.

Celles de la première classe ont reçu le nom de

voyelles, parce qu'elles sont le résultat du simple passage de la voix à travers la cavité buccale, cavité qui se rétrécit et s'allonge de manière à la modifier. Le son d'une voyelle peut d'ailleurs n'avoir d'autre limite à sa durée que celle de la quantité d'air contenue dans la poitrine. Les lettres romaines *A*, *E*, *I*, *O*, *U*, telles qu'on les prononce en général sur le continent de l'Europe, sont les signes des voyelles les plus distinctes. Le son, en passant à travers la bouche dans son état naturel de plus grande laxité, produit l'*E* des Italiens, celui des Français dans les mots *que*, *de*, *ne*, etc. (C'est l'*a* des Anglais dans le mot *care*) — Si la bouche passe de cette première position à un plus grand degré d'ouverture, le son devient un *A*, comme dans le mot français *barre*, et dans le mot anglais *bar*. — Si, au contraire, on la rétrécit, on entend un *I*, comme dans le mot *pire*. (C'est l'*e* des Anglais dans le mot *tedious*.) — En augmentant l'ouverture de la bouche et portant les lèvres en avant, on obtient le son *O*, comme dans *ovale*. — Enfin, on obtient l'*U* en portant les lèvres en avant et rétrécissant en même temps l'ouverture. — Au surplus, le nombre des voyelles est aussi grand que celui des degrés d'ouverture, d'allongement, de rétrécissement, etc., que peut prendre la bouche, quoiqu'il n'y en ait guère qu'une vingtaine qui soient suffisamment distinctes, et qu'on connaisse peu de langue parlée qui en comprenne plus de douze. — L'art moderne est parvenu, à l'aide de tubes de certaines dimensions, à produire mécaniquement les sons des diverses voyelles.

C'est un grand défaut des alphabets de l'Europe de ne pas employer constamment les mêmes caractères pour les mêmes sons, et de n'avoir point pour chaque son différent un caractère distinct. En anglais, par exemple, c'est une seule et même lettre *A* qui repré-

Digitized by Google

sente les quatre sons de la première voyelle dans les mots *water*, *far*, *fat*, *fate*, sons qu'on retrouve successivement en français dans les mots *âtre*, *phare*, *fat*, *fétus*. — Remarquez, d'ailleurs, qu'on est convenu, en récitant l'alphabet anglais, de prononcer l'*a* comme l'*e* des Italiens ou l'*é* des Français; — l'*E* se prononce lui-même comme l'*i*, et la voyelle *I*, a son tour, est la diphtongue *AÏ* des alphabets plus philosophiques. Quant à l'*U*, on est convenu, toujours en pareille circonstance, de le prononcer *IU*, c'est-à-dire comme la diphtongue *IU* des Italiens, bien que dans une grande quantité de mots il prenne le son de l'*eu* des Français dans le mot *beurre*, et même le son de l'*a* (dans le mot anglais *further*, par exemple). — Ces nombreuses altérations faites par les Anglais à la prononciation des lettres romaines, a augmenté pour eux la difficulté qu'ils éprouvent à apprendre les langues du continent; et en appliquant cette prononciation aux langues mortes, ils les ont rendues non seulement ridicules, mais presque complètement inintelligibles pour d'autres que pour eux-mêmes (1). — Il est même résulté de ces changemens, dans la prononciation des lettres romaines, une difficulté correspondante dans la prononciation de l'anglais pour les étrangers, et cette circonstance contribue sans doute à leur faire négliger l'étude de notre littérature.

Nous donnerons sans doute une idée assez juste du mécanisme de la prononciation des *consonnes*, en re-

---

(1) On peut prendre une idée de cette prononciation dans le vers suivant, que nous avons cherché à figurer le mieux possible :

Tȳtĭrĕ, tū pătŭlæ rĕcŭbăns sūb tēgmĭnĕ fāgī.
Tāĭtĭrĭ tōu pĕtĭŏulī rĭcuĭoubēunce sēub tēgmĭnĭ fēdjāï.
(*Note du traducteur.*)

marquant qu'on les obtient en prolongeant le son d'une voyelle quelconque, et en interrompant plus ou moins la sortie de ce son continu, soit en fermant la bouche complètement, soit en en rapprochant certaines parties. — Il résulte en effet de l'*état* de la bouche lors de l'interruption, et de la *manière* dont cette interruption a lieu, un assez grand nombre de modifications très distinctes. — Prenons la voyelle *A* pour exemple; admettons un moment que le son *A* soit proféré d'une manière continue, et qu'on l'interrompe subitement en fermant la partie la plus externe de la bouche, les lèvres, on aura ainsi été conduit à la syllabe *AP;* si, au lieu de rapprocher les lèvres, on avait fermé la partie postérieure de la bouche en élevant le milieu de la langue contre le palais, c'est-à-dire si l'on avait prononcé un *K*, on aurait obtenu une syllabe *AK :* les choses restant dans le même état, si l'on eût porté le bout de la langue au lieu de sa partie moyenne contre la partie supérieure de la bouche, on aurait prononcé un T et articulé la syllabe *AT*...., ainsi de suite. — Il est à remarquer que l'oreille distingue parfaitement les modifications qui résultent de l'interruption après l'émission de la voyelle, ou de l'occlusion qui la précède, c'est-à-dire qu'elle distingue facilement les syllabes *AP*, *AT*, *AK*, des suivantes : *PA*, *TA*, *KA*.

Ces modifications paraissent donc être moins de véritables sons que des manières distinctes de commencer ou terminer un son; et c'est précisément à cause de leur connexion nécessaire avec les voyelles qu'elles ont été appelées *consonnes*.

Cela posé, en considérant la bouche comme un tube vocal, on remarque trois parties vers lesquelles l'interruption de la voix ou du souffle peut se faire de la manière la plus convenable, et six modes d'interruption

pour chaque état : — de là dérivent dix-huit consonnes distinctes qui vont successivement nous occuper.

Les trois principales parties sont :

1° La limite externe de la bouche, ou les lèvres qui donnent naissance aux articulations *labiales*, dont *P* est un exemple;

2° La partie moyenne supérieure et intérieure de la bouche: là où le bout de la langue vient toucher le palais dans la prononciation du *T*, et qui fournit les articulations *palatales ;*

3° La partie postérieure et supérieure de la cavité buccale ; là où le corps de la langue vient toucher le palais dans la prononciation du *K*, et qui fournit les articulations *gutturales*.

Les *six modes* ou manières d'affecter le passage du souffle ou de la voix, pour chacune des trois positions ci-dessus, consiste à

1° L'arrêter promptement et subitement ; — d'où résultent ce que nous appelerons les articulations *muettes* : *P* en est un exemple pour la position labiale ; *T* pour la palatale, et *K* pour la gutturale. (*Voyez* le tableau des articulations, page 431; tableau qui peut être considéré comme l'image du tube vocal, et dans lequel nous avons disposé les lettres suivant leurs relations avec les diverses parties de la bouche qui concourent à leur prononciation.) On obtiendrait une muette *dentale* en arrêtant le souffle ou le passage du son vocal précisément contre les dents ; mais cette modification, qui ne se distinguerait qu'imparfaitement de la muette *palatale*, et qui d'ailleurs est moins parfaite, a été rejetée. — Certaines personnes cependant substituent celle-là à celle-

ci dans le discours, ce qui fait dire qu'elles ont la *langue épaisse.*

2° Arrêter subitement le passage du son comme dans le premier mode, mais continuer l'effort comme pour pousser ce son au dehors, jusqu'à ce que les parties de la bouche situées en arrière de l'obstacle commencent à se distendre par l'accumulation de l'air. — On obtient ainsi les *semi-muettes B, D* et *G* dur pour les trois positions. On pourrait former une semi-muette dentale, mais on l'a rejetée ainsi que la muette dentale, et par les mêmes motifs. Si l'on déprime les côtés de la langue lorsqu'elle a pris les positions exigées pour la prononciation du *T* ou du *D*, on obtient celle de *L;* nous l'avons placée dans le tableau au-dessous de la lettre *D*, parce qu'elle ne peut, en aucune manière, être classée parmi les muettes.

3° Donner au tuyau vocal la même position que pour les muettes, et laisser le son s'échapper par le nez. — On obtient ainsi les *nasales M, N, NG*, pour les trois positions.

4° Laisser passer le souffle dans les trois positions orales que nous avons indiquées, mais rétrécir considérablement le passage. — On obtient ainsi les sons que nous appelerons *aspirés,* tels que *F, S*, le θ et le χ des Grecs, que nous avons représentés dans nos langues modernes par *TH* et *CH*, et dont les sons ont été conservés dans l'anglais et dans l'allemand.

5° Employer la *voix* de la même manière que le souffle pour les aspirées. — L'on obtient ainsi les *aspirées vocales*, telles que *V, Z, J* et *GH; Z* dérive de la position de *S;* les autres s'obtiennent immédiatement, à l'exception du son simple *GH* qui n'appartient ni à la langue anglaise, ni à la langue française, mais qu'on retrouve dans l'allemand.

6° Faire vibrer les parties qui se rapprochent dans les trois positions. — On obtient les *vibratoires*; la position moyenne donne *R*, seule modification de ce genre usitée dans la langue française.

Tableau des articulations.

Muettes.	Semi-muettes.	Nasales.	Aspirées.	Aspirées vocales.	Vibratoires.	
p	*b*	*m*	*f*	*v*	*pr*	Labiales.
.	.	.	θ	.	.	Dentales.
t	*d*	*n*	*s*	*z*	*r*	Palatales.
.	*l*	.	*ch*	*j*	.	Les bords de la langue abaissés.
k	*g*	*ng*	χ	*gh*	*ghr*	Gutturales.
.	.	*n*	*h*	.	.	

Remarques additionnelles.

Le son de la lettre *H*, quand il se prononce, est un *aspiré guttural* qui se forme à la partie postérieure de la bouche, en arrière même du χ ou *ch* des Allemands.

Il résulte d'un certain effort pour expulser l'air à travers la gorge, comme dans le mot *enhardir*, par exemple.

LL présente quelque difficulté lorsqu'il devient mouillé, comme dans *paille*, *fille*, mots qu'on ne peut prononcer dans la conversation autrement que *païe*, *fïe*, sans une affectation ridicule, c'est-à-dire que le *LL* disparaît alors et se remplace par l'*ï* tréma. — Toutefois dans le style élevé, au théâtre, on rétablit l'*l*, qui se prononce à peu près comme s'il était *suivi* de l'*ï* tréma; l'on a ainsi *pal'e*, *fil'e*; on prononce très-bref la désinence *ie*.

G se prononce souvent comme le *J*; il n'est guère possible de figurer sa prononciation lorsqu'il est suivi de l'*n*, comme dans les mots français *règne*, *craignent*, ou les mots italiens *pegnio*, *bagnio*; il prend encore le son du *K* quand il est suivi d'un autre mot et qu'on veut donner de la force au discours, ainsi l'on dit le *sanke* et les larmes, et non pas le *sang-ue* et les larmes.

Le *C*, dans la langue française, remplace toujours l'*S* ou le *K*, il n'a point de son qui lui appartienne en propre; il est fort difficile de décrire sa prononciation lorsqu'il est suivi de *H*, comme dans *charité*: on remarque cependant qu'en expirant on fait toucher la langue, soulevée et comme gonflée, au palais; on serre l'air en rapprochant les dents, et l'on écarte plus ou moins, on allonge, on rapproche les lèvres dans *cha*, *che*, *chi*, *cho*, *chu*.

Q n'est réellement qu'un *k* combiné avec un *u*, comme dans le mot *que*, qu'on ne pourrait écrire *ke* si l'on voulait bien exactement figurer sa prononciation.

X n'a point de son propre en français; il remplace ou *ks* comme dans *extrême*, ou *gz* comme dans *exemple*, ou *ss* comme dans *Bruxelles*, *Auxerre*, *six*, *dix*, ou *k*

comme dans *excepter*, ou *z* comme dans *deuxième*, *sixième*, *dix-huit*, *dix-neuf*.

Les consonnes sont plus distinctement entendues à la fin des syllabes qu'au commencement; ainsi l'on saisit mieux le son de *B*, *D*, *G*, dans les syllabes *eb*, *ed*, *eg*, que dans *be*, *de*, *gue*.

Le son des consonnes labiales s'obtient soit à l'aide des deux lèvres, soit par l'action d'une seule lèvre et des dents opposées; on arrive à prononcer *F*, par exemple, de l'une et de l'autre manière, et quelques personnes prononcent même assez gauchement cette consonne par le contact des dents inférieures avec la lèvre supérieure.

Les lettres *Y* et *I* ont à peu près le même son dans toutes les langues modernes, comme dans *syntaxe*, *système*, *sinécure*, *situation*. — Cependant lorsqu'en français Y se trouve placée entre deux voyelles, il a le son de deux *i* : *essayer*, *moyen*, *citoyen*, se prononcent *essai-ier*, *moi-ien*, *citoi-ien*.

Les principaux *vices de prononciation* sont le *grasseyement*, qui consiste à prononcer les *r* du gosier; la *lallation* ou le *lambdacisme*, qui consiste à remplacer l'*r* par l'*l*, ou à doubler celle-ci sans nécessité, comme quand on dit un *milloir* pour un *miroir*, et *llama* pour *lama*; le *mogislalisme*, ou la difficulté de prononcer les labiales, vice qu'on remarque chez les personnes affectées d'un bec de lièvre; — la *blésité*, qui consiste à substituer une consonne douce à une consonne dure, comme quand un enfant dit *ze zoue*, pour *je joue*; enfin,

Le *psellisme* ou *bégayement*, auquel nous allons consacrer quelques pages. Ces mots impliquent une certaine hésitation dans la parole, résultant d'une interruption dans l'articulation, généralement accompagnée d'un effort plus ou moins grand, et d'une distorsion des

traits du visage. Nous remarquerons que jusqu'à la publication de notre ouvrage, aucune méthode, véritablement digne de ce nom, n'avait été proposée contre ce vice de prononciation, bien que des hommes tout-à fait étrangers à l'art médical et à tout autre connaissance, eussent obtenu des résultats très-positifs; ce qui prouvait assez que la cure de ce défaut était non-seulement possible, mais facile. — L'attention de l'auteur fut dirigée sur cette question, il y a déjà quelques années, par un cas singulier de psellisme combiné à une autre maladie, et c'est en recherchant les moyens d'y remédier qu'il se trouva conduit à l'analyse des articulations, exposée dans les pages précédentes, et aux remarques additionnelles qui vont suivre. Le malade guérit; mais la cure ayant été singulièrement favorisée par l'énergie morale du patient, l'auteur attribua à cette force de caractère la plus grande part du succès, et ses occupations l'ayant ensuite détourné de cet objet, il se contenta de publier ses remarques dans les premières éditions de son ouvrage comme de simples éclaircissemens sur le mécanisme de la parole, et sans avoir eu l'occasion de vérifier en quoi sa méthode différait de celles des praticiens les plus heureux, qui d'ailleurs ont le soin de faire solennellement promettre aux personnes qu'ils ont traitées le secret le plus absolu. — Cependant, depuis cette époque il a eu l'occasion de faire de nouveau usage de sa méthode, et il lui est permis d'affirmer aujourd'hui qu'il a véritablement saisi le nœud de la difficulté, et trouvé des moyens aussi simples qu'efficaces de remédier à ce défaut; — tellement simples que tout instructeur de la jeunesse qui voudra s'en donner la peine y parviendra assez facilement, et que dans les cas les moins complexes tout individu, même d'un certain âge, et qui se trouverait affecté de ce défaut, y remédiera très-pro-

bablement après avoir lu ce petit nombre de pages, pour peu qu'il soit capable d'un certain degré d'attention ; quant aux hommes de la profession, et à ceux qui ont fait une étude suffisante do l'anatomie et de l'action des organes, l'auteur ne peut mettre en doute leur succès. Ce sera pour lui une bien ample récompense de ses travaux, s'il a pu renverser le charlatanisme qui semble s'être spécialement chargé de ce genre de traitement, et qui l'exploite avec assez de rapacité pour le mettre hors de la portée du plus grand nombre.

On acquiert sur l'organe de la parole la même puissance que sur tous les autres organes musculaires du corps, et précisément de la même manière ; c'est-à-dire que pour marcher, par exemple, patiner, faire des armos, jouer de quelque instrument, etc., etc., il y a d'abord un acte distinct de volition pour chaque mouvement individuel et isolé, jusqu'à ce que la loi d'association ou l'habitude, en facilitant par de fréquentes répétitions la série d'actes simples dont se compose l'acte complexe, celui-ci n'exige plus qu'une seule et unique détermination. — L'enfant exerce d'abord un effort aussi distinct et aussi puissant de sa volonté pour prononcer la syllabe *pa*, qu'il en exercera plus tard pour doubler cette syllabe, et dire *papa ;* avec un peu plus d'habitude, il prononcera bientôt, par un seul et unique effort, le mot le plus long et le plus difficile de toute la langue. — Un peu plus tard encore, la puissance d'association se développera au point qu'il débitera des phrases complètes et même de longues périodes, à la fin desquelles il arrivera cependant avec une assez grande liberté d'esprit pour méditer et préparer celle qui va suivre. On n'a point conscience de cette marche progressive, parce que les facultés de la locomotion et de la parole se sont développées dans l'enfance et la première jeunesse,

temps dont les souvenirs sont plus ou moins effacés : mais elle est tout aussi réelle que les accroissemens successifs des diverses parties du corps, dont on n'a pas non plus conservé la mémoire. — Au surplus, qu'un homme d'un âge mûr examine ce qui se passe en lui lorsqu'il étudie, pour la première fois, la musique instrumentale par exemple; il remarquera que chaque position des doigts, pour obtenir une seule et unique note, résulte, pendant les premiers temps, d'un acte distinct de la volonté, d'une attention toute spéciale et exclusive. — Ce n'est qu'un peu plus tard qu'il parviendra à assembler de petits systèmes de notes, qui, augmentant de jour en jour de longueur et de difficulté, constitueront enfin les traits les plus compliqués que comporte l'instrument, — qui lui obéira ensuite comme la voix obéit au chanteur, et la parole à l'orateur.

On remarque chez divers individus une différence sensible dans cette puissance d'association musculaire, et par suite une aptitude fort différente à acquérir les diverses facultés dont nous avons parlé ci-dessus. Ainsi, il est des enfans dont la marche est déjà passablement assurée avant la fin de la première année, il en est d'autres, et c'est peut-être le plus grand nombre, auxquels il faut un temps beaucoup plus long; d'autres encore n'auraient jamais la démarche ferme, n'acquerraient jamais le degré de stabilité le plus ordinaire sans l'assistance du maître à danser ou du sergent. — Ainsi, quelques personnes apprennent facilement et par imitation, ou, comme on le dit, d'oreille, à jouer d'un instrument de musique; pour d'autres, il est indispensable d'étudier d'abord les notes écrites et le *doigté* qui les donne avant de jouer de mémoire; — enfin, il en est d'autres qui n'y parviennent jamais, et pour lesquelles il est tout-à-fait impossible d'exécuter un mor-

ceau sans en avoir l'image écrite constamment sous les yeux ; — c'est ainsi que nous apprenons tous à parler, c'est-à-dire, d'oreille ou par imitation ; mais certains défauts de prononciation persistent chez quelques-uns jusqu'à un certain âge, et toute l'attention, tous les soins des maîtres ou des parens suffisent à peine pour les faire disparaître ; chez quelques autres, les bègues, par exemple, ils ne disparaissent jamais par les moyens le plus communément employés, ce qu'il faut attribuer à quelque accident qui, pendant le jeune âge, aura violemment affecté leur système nerveux, ou à une faiblesse originaire dans la puissance d'association. Ces remarques nous ont conduit à penser qu'une analyse ou échelle des sons articulés, accompagnée d'une description détaillée des actions organiques nécessaires à leur production, devait offrir pour la parole à peu près le même genre d'assistance que fournit au musicien instrumentiste la partie de la méthode qui lui enseigne le doigté, ce tableau des diverses positions qu'on trouve dans toutes les méthodes d'instrument, et qu'on appelle *leur gamme*. Tel est le but de l'analyse que nous avons donnée ci-dessus, et celui de la table qui en résulte, et que nous avons formée après un examen très-sévère des organes de la parole pendant leur action. Ce petit travail concorde avec la division grammaticale des sons élémentaires, bien que l'analyse ait été poussée beaucoup plus loin, et que dans quelques parties nous ayons considéré ces élémens du discours sous un autre point de vue. Celui qui aura classé ce tableau dans sa mémoire, aura acquis l'intelligence de ce qu'il fait, et au lieu de répéter les mots par routine seulement, et à la manière des perroquets, il en comprendra le mécanisme et possédera en quelque sorte la pratique et la théorie de la parole. — De même que le musicien, lorsque la

mémoire lui manque, trouve une certaine assistance en cherchant à se rappeler les notes écrites et leur rapport avec son instrument; de même, celui qui hésite en parlant, qui éprouve quelque difficulté à proférer tel ou tel son, trouvera dans ce tableau la note qui le représente, et les positions à prendre pour l'émettre. — La répétition du même acte aplanira bientôt la difficulté que lui présente telle ou telle combinaison de son; le temps enfin, et une attention soutenue, feront le reste, et il pourra à la longue se corriger d'un vice souvent fort gênant.

Le cas le plus ordinaire de bégayement ne consiste point, comme on le pense en général, en une difficulté à proférer telle ou telle lettre, telle ou telle articulation; ce vice ne résulte point d'une désobéissance des parties de la bouche, que la volonté ne peut point vaincre ou qu'elle ne surmonte qu'avec peine, il est en général l'effet d'une interruption spasmodique, dont le siége est la glotte, et qui affecte dès-lors également toutes les espèces d'articulations. En faveur de ceux de nos lecteurs qui n'ont aucune notion d'anatomie, et qui dès-lors ne savent ni ce que peut être la glotte, ni où elle est placée, nous dirons qu'elle n'est qu'une petite fente, une ouverture étroite placée à la partie supérieure du canal par lequel l'air s'introduit dans les poumons et s'en échappe, et qu'elle est située précisément derrière l'origine de la langue. — C'est la glotte qui se ferme subitement dans le hoquet et qui s'oppose à l'introduction de l'air; c'est encore elle qui se ferme pour empêcher sa sortie lorsqu'on fait quelque grand effort, qu'on soulève un poids par exemple. C'est elle, enfin, qu'on sent se fermer à intervalles très-rapprochés lorsqu'on émet plusieurs fois de suite, et rapidement, une voyelle quelconque, *a*, *o*, *o*, *o*. Ceci bien compris, nous

dirons que dans une conversation ordinaire il n'y a jamais nécessité de fermer cette ouverture, et qu'un bègue serait guéri à l'instant même s'il était capable d'un assez grand effort d'attention pour maintenir la glotte constamment ouverte. Si les lèvres de la glotte avaient été visibles comme celles de la bouche, la nature du psellisme n'eût pas aussi long-temps passé pour un mystère, et l'effort nécessaire pour remédier à ce défaut eût frappé de son évidence l'observateur le moins attentif; mais ces lèvres étant cachées, les médecins eux-mêmes n'ont point aperçu d'abord quelle pouvait être leur influence, et le patient ne savait rien autre chose si non qu'après plus ou moins d'efforts de sa part, quelques grimaces, des gestes plus ou moins comiques, et quelquefois une convulsion presque générale, cet obstacle, dont il ne pouvait comprendre la nature, cédait tout à coup pour se reproduire un moment plus tard. — La plupart de ceux même qui, à force de soins, de patience et d'attention, s'étaient, à l'instar de Démosthène, soustraits à ce désagrément, n'ont pu en aucune manière décrire aux autres l'espèce de méthode qu'ils avaient employée, ni par conséquent les porter à l'imitation; et l'auteur croit pouvoir douter que les nombreux charlatans qui ont tantôt réussi dans ce genre de traitement, et tantôt échoué, ou qui n'ont pu procurer qu'un soulagement temporaire, comprennent bien exactement ce qu'ils font, et quel doit être le but de leurs avis.

Cela posé, l'homme affecté de psellisme, le bègue en un mot, qui ne saura en anatomie que ce que nous venons d'exposer, apercevra immédiatement le but auquel il doit constamment tendre, car tout se borne à maintenir la glotte ouverte. Mais comment y parvenir, dira-t-on? Il suffira pour cela d'imiter ce qu'on fait lorsqu'on bourdonne un son continu, lorsqu'on reste, par

exemple, en chantant, sur la syllabe *fè è è è è* du mot *fête*, ce que tout bègue effectuera sans difficulté. — Ce premier exercice terminé, il faudra le faire de nouveau, en interposant toute la série des mots qui forment la phrase à débiter ou à lire, et cela sans laisser la glotte se refermer, c'est-à-dire en enfilant les mots les uns au bout des autres d'une manière continue; c'est à peu près ce qu'on fait en chantant, et bon nombre de personnes en usent même ainsi dans la conversation ordinaire sans qu'on le remarque. L'auteur a donné ce conseil, en l'accompagnant d'un exemple, à un homme à qui il fallait environ une demi-heure pour lire une page à haute voix, et qui parvint bientôt à la lire aussi tranquillement que possible; il appliqua plus tard cette leçon à la conversation, et l'exercice et l'attention lui donnèrent la facilité ordinaire. — Il y a un assez grand nombre d'individus qui ne passent point pour avoir un vice de prononciation, et qui en cherchant leurs mots terminent toujours le dernier prononcé par un *e* prolongé, ainsi que le figure la phrase suivante : « Je e e e . . crois » e e e e . . que e e e vous pouvez e e e e e e . . » — le son *e e* se faisant entendre tout le long de la période. — Or, un bègue qui, pour ouvrir la glotte, commencerait sa phrase ou se reprendrait après une interruption quelconque à l'aide de ce *e*, ne serait pas plus remarqué que ces parleurs traînards dont nous avons figuré la méthode, et il serait bientôt en état de s'en passer. Ce moyen, du reste, n'est pas le seul qu'on puisse employer pour maintenir la glotte ouverte, il en est d'autres beaucoup plus convenables à certains cas, et que nous ne développerons pas ici, parce que tout précepteur intelligent les découvrira au besoin sans aucune difficulté. — On voit que s'il était possible de diviser les nerfs des muscles qui ferment la glotte sans détruire la voix, ce serait le

moyen le plus certain et le plus direct de remédier au bégayement.

Cet aperçu sur la nature du psellisme et sur les moyens de le faire disparaître, explique les faits suivans, qu'on regarde en général comme tout-à-fait singuliers : — Les bègues, dit-on, chantent souvent bien et sans la moindre interruption ; cela tient à ce que l'air étant continu, ou le son se prolongeant sans intermittence, la glotte ne se ferme point. — Il est encore des bègues qui lisent de la poésie avec facilité, qui déclament des morceaux de tragédie ; — c'est que la continuité d'intonation qu'exigent ces sortes de compositions maintient encore la glotte ouverte. — Lorsque la cause du bégayement est aussi simple que nous venons de le voir, un seul et unique conseil suffit quelquefois pour la faire disparaître, ainsi que l'expérience l'a prouvé ; et ceci explique comment tel charlatan qui a pu réussir dans certaine circonstance sans trop comprendre d'ailleurs ce qu'il a fait, échoue complètement dans telle autre. —Nous devons comprendre, enfin, pourquoi le langage du bègue, si justement comparé au liquide qui s'échappe d'une bouteille par un goulot étroit, a fait dire que « ses paroles ou voulaient toutes sortir à la fois ou ne sortaient « point du tout » ; c'est que la glotte étant une fois ouverte, il saisit cette occasion de faire passer d'un seul jet le plus de mots possible, s'attendant à chaque instant à voir l'interruption renaître et couper court à ses paroles.

L'étude de la table des articulations, donnée ci-dessus, outre son importance relativement à l'objet qui vient de nous occuper, donnera souvent les moyens de corriger immédiatement des vices de prononciation d'une autre nature : ainsi il suffira, par exemple, de faire remarquer à une personne affectée de blésité, que

la langue ne doit point toucher les dents lorsqu'elle prononce un *J*, pour faire disparaître ce défaut. — Comme d'ailleurs cette table est à peu près générale, elle pourra faciliter l'étude de la prononciation des langues étrangères, et le Français qui regarde comme une chose impossible de prononcer le θ grec ou le *TH* des Anglais, y parviendra immédiatement s'il veut bien remarquer qu'il suffit de poser doucement la langue contre les dents un peu entr'ouvertes, et de chasser le son entre les dents et la langue. — La plupart des langues modernes de l'Europe se composent presque des mêmes élémens, et ne diffèrent guère entre elles que par certaines désinences spéciales et la fréquence de certains sons dont on trouvera l'équivalent dans l'analyse, quel que soit d'ailleurs le système de lettres qui représente ce son dans la langue; — de sorte que l'élève qui aura saisi le génie particulier d'un langage, inventera ou déterminera facilement, par analogie, la prononciation de la majeure partie de ces mots qui dérivent, dans toutes ces langues, d'une origine commune. Cette remarque sur la ressemblance des langues européennes, s'applique surtout à l'italien, à l'espagnol, au portugais et même au français, dont l'analogie est si grande qu'ils paraissent à celui qui est familiarisé avec ces divers langages, plutôt comme un seul idiôme parlé par divers individus, que comme des langues véritablement différentes.

La *ventriloquie* ou l'*engastrimisme*, est un art singulier dont les effets dépendent d'un mode spécial d'action de l'appareil de la phonation. — Tout le monde a entendu parler des illusions singulières produites par la ventriloquie; tantôt le ventriloque fait sortir une voix sourde ou sépulcrale du fond d'un puits, tantôt il imite seul la conversation de deux ou plusieurs personnes, etc.

L'engastrimisme diffère surtout du mode de phonation ordinaire en ce que la voix se forme pendant l'inspiration; elle est alors plus faible que de coutume, et pour peu qu'elle soit accompagnée de circonstances propres à augmenter l'illusion, le prestige est complet. — C'est ainsi que le ventriloque parvient à convaincre l'honnête paysan qui conduit son fourrage au marché, qu'on a par mégarde enseveli un pauvre enfant sous les bottes de paille, et qu'il va être infailliblement étouffé s'il ne se hâte de décharger sa voiture.

On parvient facilement, avec un peu d'exercice, à prononcer sans le plus léger mouvement des lèvres, presque toutes les articulations; celles qu'il faut excepter sont les labiales, et encore les *F*, *V* et *M* peuvent-elles être passablement imitées à l'aide des parties postérieures; —dès-lors en évitant les mots qui contiennent des *P* et des *B*, on parvient à parler sans aucun mouvement visible des organes, et les autres déceptions achèvent le prestige. L'opinion de quelques auteurs (*Voyez* Good, *Etude de la Médecine*) qui prétendent que les articulations du ventriloque ne sont point produites par la langue et la bouche, comme dans le mode de phonation ordinaire, est une erreur. Cet art, porté jusqu'à un certain degré, s'acquiert sans beaucoup d'effort, ainsi que pourra s'en convaincre quiconque essaiera de s'y livrer, après avoir étudié avec soin le mécanisme de la phonation ordinaire,

Il y a d'autres variétés de voix qui dépendent surtout du degré d'acuité qu'on lui donne, et qu'on combine avec différens degrés de contraction de la bouche; mais ces effets sont plutôt des *imitations* que de la *ventriloquie*.

La diversité des sons que les organes de l'homme peuvent ainsi produire, est réellement étonnante. — Il

y a des adeptes dans l'art des imitations qui parviennent non-seulement à rendre parfaitement l'organe de tous les âges et l'accent de toutes les conditions, mais à imiter même le chant des divers oiseaux, le cri des animaux et même un très-grand nombre de sons rendus par des choses inanimées. — Vers la fin du dix-huitième siècle, il y avait à Londres un M. Henderson qui eut le privilège d'amuser toute la ville en *tuant son veau*, comme il avait coutume de le dire, tantôt dans un théâtre, tantôt dans un autre. — Ce virtuose d'un nouveau genre se plaçait derrière un rideau, et de là il imitait jusque dans les plus petits détails tous les sons et tous les bruits qui accompagnent ordinairement la mort d'une de ces victimes de notre appétit carnivore. — D'abord c'était la conversation des bouchers; venait ensuite et les agitations violentes de l'animal et le beuglement, — puis la respiration précipitée lorsque la frayeur s'emparait de lui, — puis le repassage du coutelas, — puis tous les bruits qui suivent le moment où on le plonge, — puis l'agonie; — et quelque révoltante que puisse paraître une telle imitation, on se précipitait au théâtre pour admirer les dégoûtans effets de cet art singulier.

Quant aux divers sons produits par les choses inanimées, nous citerons, — et le travail de la meule du gagne-petit, et le bruit de l'eau dans laquelle elle plonge, et le frottement de l'acier sur la pierre, et les divers changemens qui résultent d'une augmentation de pression; — le bruit de la scie lorsqu'elle partage le bois; — celui de la bouteille dont on extrait le bouchon, et le glouglou du vin qui s'en échappe; — le sifflement de l'air qui passe par le trou d'une serrure pendant une nuit d'hiver, etc., etc.

Nous avons déjà dit plus haut que la voix dépendait de la vibration des deux bords ou lèvres de cette petite

fente qui forme l'ouverture de la glotte, et que traverse l'air pendant l'inspiration et le mouvement contraire.— Il est visible que le nombre des vibrations dans un temps donné, ou le degré d'acuité de la voix, dépend alors de la tension et de la longueur de ces lèvres. Cette longueur varie avec les positions des cartilages aryténoïdes, et la tension résulte de l'action des petits muscles qui agissent sur ceux ci; en outre, la capacité de la bouche augmente ou diminue coïncidemment avec ce nombre de vibrations, par l'élévation ou l'abaissement de la langue et du larynx qui en forme le fond. — Quant au timbre et à l'individualité des différentes voix, ils doivent dépendre surtout de la dimension et de la résistance de la boîte cartilagineuse du larynx, de la force des muscles de la poitrine qui chassent l'air à travers la glotte, et de la flexibilité des parties mobiles.

La glotte est plus petite chez les femmes que chez les hommes, et par conséquent leur voix est plus aiguë. — Nous avons déjà dit dans la théorie de l'acoustique qu'il y avait en général une octave entière de différence. La voix des petits garçons est en général au même degré d'acuité que celle des femmes; mais lorsqu'ils arrivent à l'âge de la puberté leurs organes vocaux prennent subitement un accroissement qui, en rendant la voix plus forte, l'abaissent en même temps de quelques notes. — Si la voix de l'eunuque conserve cette acuité de l'enfance, c'est que le changement qu'on appelle la *puberté* ne s'effectue point chez lui.

Une extinction momentanée de la voix accompagne quelquefois l'affaiblissement général de la constitution; c'est qu'alors les rebords de la glotte qui, dans l'état normal, sont toujours maintenus à un certain degré de tension par l'action de certains muscles, cessent de l'être, ces muscles eux-mêmes étant influencés par l'é-

tat des nerfs. — De légers rhumes suffisent, chez certaines personnes, pour déterminer cette extinction ; chez d'autres elle est une suite de fatigue, d'une affection nerveuse résultant d'un état morbide, ou de toute autre cause de faiblesse. — La faculté d'articuler ne s'éteint point avec la voix cependant, et le chuchottement remplace alors le mode de phonation ordinaire.

Quel est l'homme qui n'éprouve point la plus vive admiration en réfléchissant sur ce don de la parole concédé à sa race, et sur ses immenses résultats. Qu'auraient été, sans elle, et s'ils avaient pu exister, ces génies dont nous admirons les vastes travaux, les Homère, les Newton? Rien autre chose que les premiers bœufs du troupeau, que les singes qui marchent à la tête de la bande en parcourant les bois : tel est encore le degré d'abrutissement de la nature humaine dans ces vastes plaines de l'Australasie, dont les habitans n'ont point encore su se créer une langue, tandis que les régions européennes, peuplées autrefois par des hordes de misérables sauvages, sont aujourd'hui couvertes d'une population paisible, civilisée, dont les rapports mutuels sont fondés sur l'amitié et une réciprocité perpétuelle de bienfaits. « C'est au langage, en effet (ainsi que nous » l'avons montré dans notre préface), qu'il faut attribuer » un changement aussi prodigieux dans notre condition » sur la terre. — Le langage créé, les pères purent trans- » mettre à leurs enfans leur expérience et leurs idées, » et cet héritage en passant de génération en génération, » toujours grossi des progrès de la génération précé- » dente, devint enfin un trésor que la mémoire ne put » plus conserver. Ce trop plein d'expérience, cette sur- » accumulation de faits à retenir, donna naissance à » l'écriture et de là à l'imprimerie, chargées toutes deux » de rendre la parole perceptible à la vue, de la saisir

» pour la fixer irrévocablement, — reculant par cela » même les limites de notre capacité intellectuelle. On » peut dire qu'à l'époque où nous sommes arrivés, le » langage et la *presse*, cette puissante machine hu- » maine, ont transformé les millions d'hommes qui » couvrent la surface de la terre en un être unique, gi- » gantesque et purement rationel, dont la mémoire em- » brasse tous les faits, tous les événemens qui ont pu » être observés depuis le commencement de nos an- » nales, et les conserve à jamais; — dont le jugement » analysant les trésors de la mémoire, les comparant » entre eux, en a déduit les lois sublimes et invariables » de la nature, a fondé sur elles tous les arts de la vie, » et dont l'œil sûr et perçant plonge hardiment dans l'a- » venir pour y lire les événemens que ces lois lui révèlent; » véritable argus intellectuel, il n'est point de lieu dans » l'Univers qui échappe à son investigation, il n'est » point d'instant où il n'épie et ne recueille quelque nou- » veau phénomène, où il ne surveille la nature dans ses » fonctions les plus cachées. »

DE LA DIGESTION.

Nous nous proposons dans ce chapitre de faire l'application des lois qui régissent les fluides, aux fonctions de la digestion, et de faire ressortir de cet examen de nouveaux développemens de ces lois générales.

Le corps de l'animal ne se distingue d'abord dans l'ovaire maternel que comme un petit point muqueux, un petit nuage à peine perceptible; mais bientôt la vie, cette singulière propriété, lui permet de recueillir au-

tour de lui les substances nécessaires à son accroissement, et ce petit noyau de matière animée augmente chaque jour de volume : fixé pendant les premiers temps de son existence au corps même de la mère, c'est de son sang qu'il tire sa nourriture, et ce n'est que plus tard et lorsqu'il a déjà acquis une certaine force, qu'il est abandonné à lui-même et réduit en quelque sorte à vivre pour son compte, à se suffire par ses propres ressources. C'est alors qu'entrent en jeu les appareils extraordinaires dont l'étude va faire l'objet de la présente section, et auxquels on a donné le nom d'*organes d'assimilation* ou d'*organes digestifs*, — singulier mécanisme qui en mettant en œuvre une multitude de substances mortes, prises dans le règne végétal ou animal, donne pour produit un être intelligent, un être qui se meut, un être doué de volonté, et qui commande à la matière dont il semble recevoir la vie.

Mais ce n'est point seulement lorsque le corps prend de l'accroissement que l'animal doit saisir et transformer de nouvelle matière en sa propre substance; ce mouvement d'assimilation se continue même après la maturité, et il faut que ces nutritions s'accomplissent pour réparer les pertes continuelles, qui sont les suites de la vie. Le combustible et l'eau ne sont pas plus nécessaires à la machine à vapeur, que les alimens aux corps vivans des animaux.

Quelques-uns d'entre eux, d'une organisation moins parfaite, se nourrissent presque à la manière des végétaux, c'est-à-dire par l'action des vaisseaux absorbans qui s'ouvrent à leur surface; mais le plus grand nombre introduisent les matières nutritives dans une cavité intérieure, où elles subissent une préparation avant de passer dans les vaisseaux absorbans intérieurs, qui s'en emparent pour les porter dans la circulation. Cette ca-

vité intérieure est ce qu'on appelle un *estomac*; sa forme et ses dépendances sont extrêmement variées, elles dépendent d'une infinité de circonstances, mais principalement de la nature des substances nutritives.

Donnons une idée des progrès de la digestion chez l'homme. — L'aliment est d'abord reçu par la *bouche*, où il est broyé, mis en pièces par les pointes tranchantes et les espèces de meules qu'on appelle *dents*, et dont les *mâchoires* sont armées. Pendant cette première opération un fluide, la *salive*, fourni par les glandes environnantes, le réduit en une masse pulpeuse, et c'est sous cet état qu'il est repoussé en arrière par la *langue* jusqu'à l'orifice d'un long tube, l'*œsophage*, qui par la contraction successive de ses fibres circulaires, le fait descendre jusque dans la poche do l'*estomac*, dont la grande cavité se trouve située au-dessous des dernières côtes du côté gauche. De la surface interne de ce viscère suinte une liqueur, le *suc gastrique*, le dissolvant lo plus général de la nature, et qui attaquant l'aliment le réduit bientôt, quelle que soit sa substance, en une masse pultacée qu'on appelle le *chyme*; sous cet état elle pénètre dans le conduit *intestinal* qui fait suite à l'estomac, elle y reçoit à mesure de son passage un mélange de bile et do suc pancréatique, fournis l'un par le foie et l'autre par le pancréas. Ce mélange opéré, il y a décomposition chimique et séparation de ses parties, et la véritable portion nutritive de la masse ne paraît plus que comme un fluide laiteux qui flotte parmi les rebuts de cette élaboration : c'est ce fluide laiteux qu'on appelle le *chyle*, et qui absorbé dans tous les points du canal par les innombrables vaisseaux chylifères qui s'y rendent, est porté par eux jusqu'au *canal thoracique*, qui le mêle enfin au sang pour en réparer les pertes. Le canal intestinal a, chez l'homme, une

longueur de cinq à six fois aussi grande que celle du corps, et dont la surface, nécessairement fort étendue, favorise dès-lors l'absorption. Le résidu de la masse chymeuse, c'est-à-dire les parties dont les absorbans ne se sont point emparé, procèdent le long du canal et sont enfin évacuées; ce sont les *fèces*.

Il y a dans ce phénomène de la digestion, tel que nous venons de l'esquisser, un concours, 1° d'actions *mécaniques*, sur lesquelles nous allons nous arrêter un moment; 2° d'actions *chimiques*, la dissolution de l'aliment par le suc gastrique, la séparation du chyle, par exemple; mais il faut encore y reconnaître, 3° des actions *vitales*, telles que l'afflux des divers fluides, salive, suc gastrique, bile, etc., qui ne s'opère qu'au moment où leur présence est nécessaire; tels enfin que les phénomènes d'absorption et ceux qui dépendent d'actions musculaires. Il n'est donc pas plus permis de négliger l'étude d'une de ces trois classes de composantes, que celle de l'autre, sous peine au moins de ne prendre qu'une idée toujours incomplète de cette fonction. — Nous allons examiner les circonstances mécaniques de la digestion.

L'abdomen peut être considéré comme un vaisseau rempli de liquide, et dans lequel, dès-lors (*voyez* l'Hydrostatique), la pression s'exerce dans toutes les directions, croît avec la profondeur, etc., et dans lequel elle augmente encore par l'action des muscles qui forment les parois de la cavité.

L'exactitude de cette analogie paraîtra évidente, si l'on considère que l'aliment arrive à l'estomac déjà à demi liquéfié, que la boisson le suit, et que les sucs gastriques et autres s'y mêlent à mesure qu'il passe dans le canal intestinal; puis, que les intestins eux-mêmes

sont parfaitement polis à l'extérieur, et que constamment humides par la sécrétion d'un sérum lubréfiant, ils glissent les uns sur les autres sans frottement sensible. L'abdomen peut donc être assimilé à un vase de forme à peu près circulaire, parfaitement poli à l'intérieur et rempli d'un fluide épais renfermé lui-même dans un tube parfaitement uni et flexible.

Dès-lors les matières contenues dans l'estomac et les intestins, pendant la vie, se trouvent supportées comme l'eau peut l'être dans l'eau même, c'est-à-dire qu'en attribuant à toutes ces parties un même poids spécifique, il n'y aura aucune raison pour que l'une descende plutôt que l'autre par l'effet de la pesanteur. On voit encore qu'il n'y a point de pression générale, de contraction des parois environnantes qui puisse accélérer le mouvement d'un corps quelconque renfermé dans cette cavité, si l'on excepte toutefois le moment même où il est expulsé, et que ces pressions ou contractions ne peuvent en rien faciliter le passage de ce corps d'une partie dans une autre ; — de l'estomac, par exemple, dans l'intestin grêle.

Précisément par les mêmes motifs, cependant, la plus faible action contractile des parties contenantes suffit pour expulser le contenu, — la pesanteur, comme cause de résistance, étant neutralisée par le fluide environnant ; — et pour peu que l'estomac, ou une partie quelconque du canal intestinal soient assez remplies pour soumettre à la plus légère épreuve l'élasticité des enveloppes, cette circonstance seule suffira pour déterminer l'évacuation, à moins que quelque action musculaire ne s'y oppose. — Le mode d'action du canal intestinal dans l'expulsion est une contraction successive de ses fibres circulaires, qui s'effectue d'avant en arrière, et qui chasse alors les matières contenues, précisément comme le ferait un

tube ou un anneau entourant le canal, et qu'on pousserait dans la même direction.

Ces considérations rendent évidente l'erreur si commune qu'on commet en supposant que le vomissement puisse, par la compression subite des viscères abdominaux, débarrasser *mécaniquement* les conduits biliaires obstrués. Si une compression générale de l'abdomen pouvait produire des effets de ce genre, ce serait un puissant moyen thérapeutique que de descendre dans la cloche à plonger; car à une trentaine de pieds de profondeur, l'abdomen se trouverait soumis à une pression additionnelle d'une atmosphère, c'est-à-dire d'environ un kilogramme de plus par centimètre carré de sa surface.

Nous voyons encore dans quel genre d'erreurs sont tombés ceux qui attribuaient la puissance de l'estomac comme agent de digestion, à la simple pression exercée sur l'aliment par ce viscère. Cette idée résulta probablement de l'examen de l'estomac des gallinacés, qui paraît, outre sa fonction propre, destiné à remplacer la bouche et les dents, et chez lesquels ce viscère est un véritable instrument de trituration.

Admettre que le mercure qu'on administre quelquefois intérieurement contre les obstructions, ne parcourt les intestins que par la seule action de son poids, est encore une erreur. — Lorsqu'il pénètre d'abord dans l'intestin, il entraîne la partie dans laquelle il est contenu au fond de l'abdomen, et la totalité de l'intestin passe successivement, à peu près comme le ferait une corde enfilée dans un anneau attaché à un point fixe.— Lorsque le métal est parvenu à cette partie de l'intestin qu'on appelle le *cæcum*, et où il commence à se diriger de bas en haut le long de l'arc fixe du colon, il est probable qu'on ne peut le déloger qu'en faisant coucher le

patient.—L'emploi du mercure, en pareil cas, peut bien n'avoir d'effet utile qu'en stimulant les intestins, et en les entraînant ou les déplaçant, comme nous venons de l'indiquer.

Lorsque les muscles abdominaux, qui forment les parois de la cavité, acquièrent une certaine tension, soit par l'effet d'une réplétion extraordinaire, soit par leur action propre, comme dans les efforts, il résulte de cette tension une variété d'effets mécaniques que nous allons passer en revue.

Un *estomac plein*, comme on le dit communément, produit — une tension du ventre et le projette en avant; — le diaphragme se relève dans la cavité de la poitrine, et par suite la respiration devient courte et précipitée; on éprouve de la difficulté à chanter et même à parler; — le sang est expulsé des vaisseaux de l'abdomen, et il y a dès-lors congestion dans les autres parties, dans les artères de la tête, par exemple, ce qui détermine quelquefois l'apoplexie.

La *tension de l'abdomen*, dans l'*hydropisie*, la *tympanite*, la *grossesse*, ou par suite d'un excès d'*embonpoint*, etc., produit la plupart des effets ci-dessus, mais à un degré plus élevé. Il peut arriver, dans le cas d'hydropisie, que par suite de l'élévation du diaphragme, le patient meure par suffocation si la ponction n'est point faite à temps. — Les veines externes des jambes et de l'abdomen sont en général très-enflées chez les hydropiques, parce que le sang y est refoulé de la cavité abdominale, et que son passage est d'ailleurs obstrué par l'état de l'abdomen. Dans la tympanite, ou comme on l'appelle encore, l'*hydropisie venteuse*, les viscères pendent dans la cavité abdominale, tandis que l'air en oc-

cupe la partie supérieure; dans l'hydropisie ordinaire, ces viscères flottent et sont alors supportés.

Presque tous les exercices gymnastiques mettent en jeu les muscles abdominaux, et déterminent par conséquent une pression sur les parties internes de l'abdomen; car ces muscles sont antagonistes des grands muscles du dos et des environs de l'épine, et dès-lors ils doivent coïncidemment entrer en action pour donner de la fermeté et une certaine rigidité au tronc. C'est au surplus ce qu'on remarque très-bien dans la course, dans la lutte, et pendant les efforts pour soulever un poids, etc. Comme les muscles abdominaux ne peuvent agir d'une manière forte et continue sans que les côtes dont ils procèdent ne soient à peu près fixes, celles-ci sont supportées pendant l'effort par les muscles intercostaux et par l'air qui est renfermé alors dans la cavité de la poitrine par l'occlusion des passages : il y a donc en général compression dans la poitrine coïncidemment avec la compression de l'abdomen, et le sang est alors chassé de l'une et l'autre cavité à la fois vers les extrémités. — Il est important de remarquer que dans ce qu'on appelle les actions puissantes de la poitrine, telles que la *toux*, *l'éternuement*, *l'action de souffler*, etc.; les muscles abdominaux sont au moins aussi actifs que les pectoraux : en tirant de haut en bas les côtes, auxquelles ils sont attachés, ils rétrécissent la poitrine, et en comprimant les parties internes de l'abdomen ils élèvent le diaphragme et lui font encore perdre une partie de sa capacité dans le sens de la hauteur.

Jetons un coup-d'œil sur les suites des divers efforts. — Lorsqu'on soulève un poids, le sang est chassé vers la tête, ainsi que le prouve pour l'observateur le moins attentif la rougeur de la face. — Une toux violente suffit quelquefois pour rouvrir des plaies de sangsues et les faire saigner de

nouveau —ou pour vaincre l'action du sphincter de la vessie ou du rectum : —elle détermine quelquefois le vomissement. —Les efforts qu'on fait, pour vider la vessie, le rectum, la matrice, ou bien en vomissant, ont quelquefois amené la rupture d'un vaisseau sanguin dans le blanc de l'œil.—L'apoplexie est souvent la suite de semblables efforts ; elle résulte de la rupture d'un vaisseau dans la cervelle —C'est presque toujours un effort qui détermine la rupture d'une veine variqueuse ou d'un anévrisme, — ainsi que la protrusion à travers les parties faibles de la cavité abdominale de quelque portion de son contenu,— ou ce qu'on appelle en général des *hernies* ou *descentes;* le *vomissement* résulte, non d'une contraction spéciale de l'estomac comme on l'a cru long-temps, mais principalement de l'action des parois abdominales; c'est ce que prouve l'expérience suivante. — On extirpe l'estomac d'un animal vivant; on adapte une vessie de mouton à l'œsophage pour en tenir lieu; cette vessie contient un liquide, et elle est mise en communication inférieure avec l'intestin; on injecte une dissolution émétique dans les veines de l'animal; les nausées arrivent, et à leur suite de véritables vomissemens, puisque la liqueur qui remplissait la vessie est rejetée.—Cette expérience montre que pendant les efforts, il est nécessaire pour prévenir toute régurgitation d'alimens, que l'orifice supérieur de l'estomac soit presque aussi fortement fermé que les sphincters par en-bas.

On a récemment employé dans la pratique médicale une petite pompe dite à estomac dont l'usage principal est d'évacuer ce viscère des poisons qui y auraient été introduits, dans le cas où il est difficile d'exciter le vomissement. Ce petit appareil, qui a déjà rendu d'immenses services, ne diffère des seringues ordinaires, qu'en ce qu'il porte à son extrémité inférieure deux ouvertu-

res au lieu d'une seule; ces ouvertures sont fermées d'ailleurs par des soupapes qui ferment l'une de dedans en dehors, l'autre de dehors en dedans. Lorsque l'appareil doit servir à l'exhaustion, on met *son orifice d'aspiration* en communication avec un tube élastique dont on introduit l'extrémité dans l'estomac, et la matière s'écoule alors par *l'orifice de refoulement;* lorsqu'au contraire il doit servir d'appareil d'injection, qu'il s'agit par exemple d'introduire dans le viscère quelque liquide destiné en quelque sorte à le rincer, la communication entre les tubes et les orifices est établie d'une manière inverse.

Comme on pourrait ne point avoir sous la main une telle pompe au moment du besoin, il n'est sans doute pas inutile de faire remarquer qu'un tube ordinaire peut dans certains cas remplacer cet appareil et quelquefois même avec avantage; on l'introduit dans l'estomac, et l'on dispose le corps du patient de manière que le tube prenne une pente convenable; le liquide s'échappe alors du viscère comme l'eau passe du pavillon d'un entonnoir à travers sa douille; — et si l'on plonge dans un liquide la partie externe du tube, il s'établira pendant l'évacuation une action de syphon d'une force considérable. En changeant ensuite la position du corps, on pourra introduire de l'eau dans l'estomac à l'aide de ce même tube afin de nettoyer ce viscère, eau qu'on fera partir ensuite en revenant à la première position. On pourrait donner à ce tube une longueur assez grande pour en faire un véritable syphon, dans lequel on ferait le vide, soit à l'aide d'une seringue, soit par succion, en employant toutefois un vaisseau intermédiaire.

Mais il existe encore un moyen plus simple de déloger le poison d'un estomac torpide, et ce moyen consiste tout simplement à disposer le corps du patient de ma-

nière que sa bouche se trouve à un niveau beaucoup au-dessous de celui de l'estomac ; — on peut par exemple placer le corps en travers sur une chaise ou un sopha, la bouche étant à peu près à la hauteur du sol ; — en pressant un peu l'estomac avec les mains, si cela devient nécessaire, l'orifice cardia s'ouvre très-facilement, et le liquide s'échappe du viscère comme d'un vase qu'on renverse sens dessus dessous.

Quelque utile que puisse être la pompe comme appareil d'exhaustion, son emploi primitif comme appareil d'injection paraît encore plus important ; et des expériences récentes semblent prouver que les injections peuvent devenir un remède d'une utilité beaucoup plus générale qu'on ne l'avait encore soupçonné. Par suite de cette erreur qui avait fait attribuer à ce qu'on appelle la *valvule du cæcum* la propriété de n'agir qu'à la manière des soupapes ordinaires, c'est-à-dire de ne s'ouvrir que dans un sens et de haut en bas, peu de praticiens osaient hasarder des injections abondantes, de crainte, disaient-ils, de distendre outre mesure la partie inférieure de l'intestin, de sorte que les maladies qui exigeaient des injections plus profondes n'avaient point été attaquées par ce moyen. — On a reconnu depuis qu'on pouvait impunément pousser le fluide, non-seulement au-delà de cette valvule, mais même jusqu'à l'estomac ; et comme il y a peu d'obstructions des intestins qui puissent résister à l'injection graduée d'un liquide, on a conquis un moyen mécanique d'un effet sûr dans presque toutes les circonstances où l'on employait souvent si inutilement des purgatifs et des saignées. — Il résulte de ce que nous avons dit ci-dessus de l'abdomen et du canal intestinal que toute injection tend à se répandre avec la plus parfaite uniformité. — Cette tendance peut être rendue sensible à la vue, et l'on en acquiert une

démonstration pratique assez évidente en jetant un intestin de mouton fraîchement extirpé dans un baquet d'eau, et en y injectant le liquide à l'aide d'une seringue par une de ses extrémités : — on voit en effet un courant de liquide s'échapper avec force et presqu'immédiatement par l'autre extrémité, bien qu'elle soit distante de plusieurs pieds de la première, et cela, sans qu'aucune partie intermédiaire de l'intestin ait acquis une tension très-sensible. — Il est bien entendu que dans les cas de spasme et d'obstruction, c'est très-graduellement que cette action du liquide doit s'exercer contre la résistance à vaincre.

On connaît dans la pratique de la médecine sous le nom d'*intussusception* une maladie qui résulte de l'insertion contre nature d'un intestin dans un autre; — phénomène qu'on peut assez bien représenter en refoulant l'une des parties d'un doigt de gants dans une partie inférieure; — la portion de l'intestin qui reçoit l'autre agit sur celle-ci comme sur l'aliment, c'est-à-dire qu'elle la resserre et forme ainsi une obstruction complète dont les conséquences sont souvent funestes. — Cet accident est surtout fréquent dans le premier âge; — or une injection copieuse, à la manière de celles que nous avons décrites, est un moyen de guérison presqu'infaillible; car le liquide procédant en effet jusqu'à ce qu'il arrive à la partie obstruée, il ne peut passer outre sans en opérer le développement.

La *seringue perpétuelle* dont nous avons parlé ci-dessus à propos des dernières applications qu'on en a faites, peut servir à injecter ou à évacuer une quantité indéfinie de liquide; elle est en cela infiniment supérieure aux anciennes seringues privées de soupapes, et qui ne peuvent sans interruption injecter qu'une seule fois leur capacité. Muni de pièces additionnelles, l'appareil qui nous oc-

cupe peut servir à une infinité d'opérations, aux injections proprement dites, à l'évacuation des matières liquides ingérées dans l'estomac, à la transfusion du sang, à faire le vide lors de l'application des ventouses, au soulagement des mamelles soumises à une distension extrême, aux lotions de la vessie, de l'urètre, etc. La figure 56 donne une idée assez exacte de cette *seringue perpétuelle* qui doit être rangée parmi les appareils indispensables au chirurgien. L'ouverture *c* est l'orifice de succion ou d'aspiration; la soupape qu'elle porte s'ouvre dès-lors de dehors en dedans; l'ouverture *a*, qui est au contraire l'orifice d'injection, porte une soupapo qui s'ouvre de dedans en dehors; l'une et l'autre soupape agit sous l'influence du piston *b* par des effets en tout semblables à ceux des pompes foulantes et aspirantes (*voyez* la *Pneumatique*); les dimensions les plus convenables sont en longueur quatre à six pouces, et en largeur ou diamètre de trois à cinq quarts de pouces. Dans uno maladie du rectum, où il était nécessaire de faire de fréquentes injections, le patient a trouvé préférable à tous les autres instrumens l'*entonnoir à injection* de la figure 57. Le tube *a b* a six décimètres de longueur, ce qui donne une colonne liquide capable dans tous les cas de surmonter la résistance ordinaire de l'abdomen; si l'on faisait usage d'un tube plus court, il faudrait remplacer l'entonnoir ouvert *a* par un vaisseau fermé, représenté dans la figure par des lignes ponctuées; l'on surmonterait ce vaisseau d'une vessie remplie d'air *d* et d'un tube *c* traversant le couvercle, et fermé par un bouchon ou par un robinet; lorsqu'on introduit par ce tube le liquide d'injection, tout l'air contenu dans la capacité de l'appareil passo dans la vessie et la gonfle; on ferme alors l'ouverturo *c*, et ouvrant le robinet inférieur *b*, on presse sur la vessie pour pousser le liquide

avec tous les degrés de force nécessaires. Cet appareil est plus simple et plus économique que les seringues ordinaires, il est tout aussi efficace; et comme la vessie ne se mouille jamais, elle dure fort long-temps sans se détériorer.

La comparaison que nous avons faite de l'abdomen à un sac rempli de liquide, et qui tend à s'échapper dans toutes les directions, donne l'explication des circonstances qui déterminent ou accompagnent les *hernies* ou *descentes;* nous avons déjà dit que l'on appelait ainsi toute protrusion des viscères à travers leurs enveloppes, formant ainsi une tumeur ordinairement sous-jacente à la peau.

Il peut résulter une hernie de toutes les causes qui affaiblissent les muscles ou qui les excitent à de trop grands efforts; sauter par exemple, soulever un grand poids, tousser, éternuer, se coucher en travers d'un banc le ventre seul portant sur l'appui, ou, comme le font les marins, se mettre en travers d'une vergue, etc., etc., peuvent déterminer une descente, et l'on peut encore ajouter à ces nombreuses causes une extrême distension du ventre, résultant d'un excès dans le boire ou le manger, ou d'un embonpoint extraordinaire, ou d'une hydropisie, ou d'une grossesse; enfin une faiblesse dans les muscles, fruit de la dissipation, etc.

Ce qui fait qu'une hernie augmente si rapidement lorsqu'elle s'est une fois manifestée, c'est que la partie qui tend à s'échapper agit véritablement à la manière d'un coin fluide, dont par conséquent la force de séparation s'accroît avec le diamètre. Cette remarque montre combien il importe de porter remède à ce genre d'accidens dès leur origine. Nous avons parlé, page 264 du premier volume, des bandages qu'on devait employer.

Il est important de remarquer que lorsqu'on essaie de faire rentrer dans l'abdomen les parties qui tendent à

s'en échapper, il suffit le plus souvent d'exercer avec la main et sur la tumeur, une pression douce et uniforme un peu plus grande que la pression qui s'exerce à l'intérieur; car alors on repousse de dehors en dedans les fluides qui pourraient suinter de la tumeur, — et son diamètre diminuant de plus en plus, on parvient le plus souvent à la replacer, sans avoir recours à la terrible ressource d'élargir l'entrée à l'aide de l'instrument. Il n'est point de praticien qui, avec une certaine adresse et par un traitement judicieux, ne trouve ainsi l'occasion de prévenir une opération douloureuse. — Cette pratique barbare des anciens chirurgiens, qui consistait à suspendre par les pieds l'homme affecté d'une hernie, et à le secouer dans cette position, pour faire rentrer les viscères qui tendaient à s'échapper, était fondée sur l'ignorance; ils n'avaient point encore remarqué que le poids des intestins, quelle que fût la position du corps, était presque entièrement supporté, non par leurs attaches, mais par les parties environnantes.

La fonction digestive ou d'assimilation, dont nous avons tracé une esquisse dans les paragraphes précédens, et en vertu de laquelle le corps animal s'empare des matières étrangères qui l'entourent, et les convertit en sa propre substance, est un objet d'étude peu attrayant dans quelques-uns de ses détails, mais qui, pris dans son ensemble, est peut-être le fait le plus digne de l'attention du philosophe. Elle se rattache en effet à ce problème d'un si haut intérêt, et dont on attend encore la solution: Qu'est-ce que LA VIE?

L'art parvient sans doute à analyser ces particules de matière qu'on appelle les *semences*, et qu'on sait être les rudimens de l'être qui va manifester le phénomène de la vie, les chaînons par lesquels des générations infinies pendent à l'existence; mais il ne peut abstraire et con-

sidérer à part ce mystérieux phénomène, cette propriété, ce *on ne sait quoi*, sous l'influence duquel chaque petit germe placé dans des circonstances favorables, se développe, se renfle comme pour occuper un moule invisible de maturité qui détermine et sa forme et ses proportions ; —qui de l'un fait un rosier, de l'autre un chêne majestueux, d'un troisième un aigle, d'un quatrième un éléphant ; — qui permet à des systèmes singuliers de solides et de fluides, à l'homme par exemple, ce modèle de force et de grâce, à la femme qui rayonne d'une beauté douce et pure comme la lumière, qui leur permet, dis-je, de recruter pour ainsi dire chaque parcelle de leur existence dans les débris grossiers du règne végétal, dans les racines, dans les feuilles des plantes, et jusque dans les lambeaux de la chair animale ? Quelle étrangeté que de pareilles sources alimentent l'œil humain de ce feu du génie qui semble l'embraser, qu'elles entretiennent la force et la vigueur de cette masse cérébrale, siége de la raison, qui, de la forteresse osseuse où elle est renfermée, embrasse le système entier de l'univers, pèse le soleil, et dévoile à la nature ses secrets les plus cachés.

DE LA RÉGION PELVIENNE (1).

De la sécrétion urinaire, etc.

De l'énorme quantité de fluide qui s'introduit journellement dans le corps de l'homme, il s'en échappe une grande partie par la respiration, ainsi que le prouve la condensation visible de la vapeur dans un air glacé ou sur les surfaces polies et froides qu'on approche de

(1) Les détails suivans sont plus spécialement destinés aux médecins.

la bouche ; une autre partie suinte par la peau dans la perspiration, mais la plus grande portion de la masse, après avoir accompli ses fonctions, est séparée du sang par deux organes de sécrétion qu'on appelle les reins, et passe ensuite au dehors à travers des canaux appropriés, emportant avec elle les diverses matières qu'elle tient en dissolution, et qui seraient inutiles à l'entretien du système. Les *reins* sont deux glandes situées dans la cavité abdominale, sur les côtés du rachis ou de l'épine; ces organes ont la forme d'un haricot; ils sont le siège d'un écoulement constant de liquide qui passe à travers deux canaux membraneux appelés *uretères* jusque dans la vessie, d'où il est enfin chassé par le canal de l'urèthre, à des intervalles assez distans, mais qui dépendent de la rapidité de l'accumulation.

La vessie est un réservoir musculo-membraneux très-singulier, dont les fibres peuvent se contracter au point d'expulser jusqu'à la dernière goutte d'urine, et qui peut cependant prendre assez d'expansion pour en admettre quelques litres.

Le passage du fluide des reins à la vessie à travers les uretères a quelque analogie avec celui du sang dans les veines. Quelques auteurs ont prétendu, à tort, que le poids de l'urine suffisait pour la faire descendre, car la vessie et les uretères sont placées dans la même cavité que le canal intestinal, et celui-ci est rempli d'une masse semi-fluide d'un poids spécifique plus grand que l'urine; il en résulte que le poids de cette liqueur est non-seulement vaincu comme celui de l'eau dans l'eau même, mais que l'urine est repoussée de bas en haut, comme l'eau le serait dans le miel ou dans la mélasse. — L'urine descend donc en vertu d'une autre force que la pesanteur.

Les *uretères*, la *vessie* et l'*urèthre*, sont le siège de

quelques-unes des plus horribles maladies qui aient affligé l'humanité. Parmi ces maladies, il en est qui peuvent se ranger sous deux classes que nous allons considérer ici d'une manière générale, parce qu'elles ont été combattues avec succès par des moyens mécaniques; nous voulons parler des *obstructions de l'urèthre*, et des *concrétions*, *calculs*, ou communément *pierres de la vessie*.

Les *obstructions* et les rétrécissemens de l'urèthre sont généralement les suites d'une inflammation qui détruit la dilatabilité d'une partie du canal. On peut prendre une idée de leur forme en se représentant un fil, un petit ruban; serré autour d'un tube à parois flexibles, de manière à en rétrécir le calibre. Une constante irritation qui détruit complètement la santé, des accès de fièvre, des insomnies, et la mort elle-même, qui suit la suppression totale de l'évacuation urinaire, sont les maux qu'entraînent généralement les obstructions de l'urèthre.

Il n'y a pas bien long-temps que le traitement de ces maladies n'était encore qu'une aveugle routine; on essayait d'ouvrir un passage de vive force dans le canal rétréci, soit à l'aide de coins appelés *bougies*, soit en attaquant ces rétrécissemens par des caustiques qu'on faisait pénétrer jusqu'à eux au moyen de ces bougies. La première opération était souvent douteuse, la seconde compromettait souvent aussi les parties du canal en deçà de l'obstacle, ou bien l'opérateur était exposé à faire fausse route, à perforer de faux passages autour du rétrécissement, à attaquer des vaisseaux sanguins qui amenaient de terribles hémorragies.

Frappé de cette lacune dans cette branche importante de l'art, l'auteur de cet ouvrage, pendant son séjour à l'étranger, et dans une situation où il était à même de

recueillir des observations d'un haut intérêt, s'en occupa spécialement, et fut assez heureux pour tirer de ses études et de ses recherches de nouveaux moyens curatifs dont il fit l'essai. Ces moyens furent, plus tard, mis en pratique, perfectionnés et complétés par son frère le docteur James Arnott, chirurgien en chef au service de la Compagnie des Indes Orientales, qui les publia, avec de grands détails, dans un Traité sur les maladies de l'urètre, et dans un supplément à ce Traité, qui parurent de 1818 à 1820. Il paraît toutefois que ces moyens, grâces à l'ouvrage du docteur Ducamp, se sont plus répandus, et sont dès-lors beaucoup mieux connus en France qu'en Angleterre; ce qu'il faut attribuer, partie à ce que les chirurgiens français sont plus familiarisés que les nôtres avec les théories de la mécanique, et partie au rapport extrêmement favorable que l'Institut de France a bien voulu faire sur ce mode de traitement, et sur les instrumens qu'on y emploie. — Il est pénible pour moi d'être dans la nécessité d'ajouter ici que le docteur Ducamp, et quant à ces instrumens, et quant à ces maladies, et quant à leur traitement, a négligé de dire qu'il n'était que traducteur. Tout en dévoilant cette fraude d'un médecin français, l'auteur se plaît à rendre hommage à la loyauté et aux lumières des compatriotes de M. Ducamp, qu'il a eu si souvent l'occasion d'apprécier.

Le but de ces *nouveaux moyens* de traitement est : — de déterminer l'état exact de la partie affectée du canal; — de faciliter l'introduction des instrumens dans les cas difficiles; — et d'obtenir une cure permanente et réelle au lieu d'un simple palliatif. Jetons un coup-d'œil sur ces méthodes et sur les instrumens dont elles exigent l'emploi.

1° *Sonde exploratrice :* ce n'est rien autre chose

qu'une bougie dont l'extrémité est formée d'une matière tenace et plus douce, dans laquelle on a mêlé des filamens de coton ou de soie, pour empêcher que quelque portion ne se brise ou se détache pendant qu'on en fait usage. Cette sonde, pressée contre l'obstruction, reçoit une empreinte correcte de sa face antérieure, et montre la position exacte et la grandeur de l'ouverture qui reste encore.

2° Une *sonde de dilatation*, qui n'est autre chose qu'un petit tube terminé par un bouton dilatable; ce bouton se compose d'un petit sac qu'on passe, pendant qu'il est vide, à travers le rétrécissement, et qu'on remplit ensuite de fluide. Il dévoile facilement tous les rétrécissemens qui pourraient se trouver au-delà du premier, et fait connaître, jusqu'à un certain degré, l'état de chacun.

3° Une *canule conductrice :* c'est un tube ouvert par ses deux extrémités, qu'on introduit jusqu'à la partie rétrécie, pour supporter et diriger les petites bougies lorsqu'elles doivent pénétrer dans des ouvertures très-étroites, et pour conduire le caustique jusqu'au lieu où il doit agir.

4° Lorsqu'on ne peut point parvenir, par les moyens ordinaires, à s'ouvrir un passage, on introduit d'abord une canule conductrice, et l'on y fait ensuite passer six ou huit petites bougies côte à côte, de manière à explorer à la fois toute la face antérieure de l'obstruction. Il est presque impossible, par cette méthode, de ne point trouver l'ouverture.

5° Mais si ces moyens eux-mêmes venaient à échouer, on remplirait d'eau la canule, et on exercerait sur ce liquide une pression qui ouvrirait enfin un passage pour les petites bougies, ou s'introduirait elle-même dans le rétrécissement, comme pourrait le faire le plus aigu

de tous les instrumens. L'ouverture une fois élargie par un moyen ou par un autre, l'urine s'en échappera. Comme les malades pourraient craindre que l'eau poussée de cette manière vers la vessie, déjà trop pleine de liquide, n'entraînât de graves accidens, James Arnott attendit, pour recommander cette pratique, qu'il eût recueilli des preuves plus nombreuses de son utilité. Le docteur Amussat, de Paris, a publié récemment une série de faits qui montrent quels avantages elle présente dans des cas nombreux de rétention.

6° Un *dilatateur*, pour élargir le rétrécissement, lorsqu'on a pu y introduire un petit instrument. Ce dilatateur est destiné à remplacer les bougies et les sondes dont on se servait autrefois, et qui, avec l'inconvénient d'exercer un frottement douloureux, présentaient, en outre, le danger de faire fausse route, n'étaient d'ailleurs que des palliatifs, et ne pouvaient, enfin, dilater aucune partie du canal au-delà de la dimension de son orifice, qui, dans l'état de santé, en est la partie la plus étroite.

Le dilatateur est un tube formé d'une membrane mince, et qu'on introduit pendant qu'il est vide dans la partie rétrécie, à l'aide d'un fil métallique terminé par une surface arrondie; on le remplit de fluide, à l'aide d'une seringue, et l'on peut alors dilater le rétrécissement avec tous les degrés de force; c'est une véritable presse hydraulique, à laquelle il est impossible que le plus fort tissu, ou que les fausses membranes, qui sont le fruit de la maladie, puissent résister. Le dilatateur a environ deux pouces de long, et celle de ses extrémités qui est tournée du côté de l'opérateur est fixée au bec d'une petite sonde, à travers laquelle on injecte le fluide qui doit servir à la distension. Le tube est formé de rubans de soie très minces et de di-

verses dimensions, fixés les uns aux autres par leurs bords; il est doublé en boyau de chat ou de chien préparé, substance dont l'épaisseur n'excède que fort peu celle de la baudruche, mais qui conserve une grande force sous cette épaisseur, et qui est parfaitement imperméable. Cette pellicule sert encore à recouvrir le tube, afin de lui donner plus de douceur à la partie externe. L'appareil ainsi disposé, et muni de son fil métallique émoussé, est cependant beaucoup moins volumineux que la bougie qu'il serait nécessaire d'employer pour le même cas. Il a donc l'avantage de pouvoir être facilement introduit, de ne pouvoir déchirer le canal en aucune partie, ni frayer de faux passages; il peut pénètrer à travers un petit orifice et le dilater ensuite d'une quantité indéterminée; enfin, comme il prend de plus en plus de volume à mesure que le rétrécissement s'élargit, une seule application du dilatateur produit souvent ce qu'on obtenait à peine par un long traitement et par l'emploi de bougies dures; il a guéri en un seul jour des maladies qui avaient résisté aux autres modes de traitement pendant un espace de plusieurs mois, et même de plusieurs années.

Quelques praticiens, qui ne connaissaient point, sans doute, les lois de la pression des fluides (V. *Hydrostatique*), ont objecté, contre l'emploi du dilatateur, qu'il était impossible qu'une aussi petite quantité d'eau ou d'air, soumise à l'action d'une seringue, pût jamais vaincre la résistance qui lui était opposée. S'ils avaient vu l'instrument soulever les poids dont on le charge, et briser les fortes ligatures sous lesquelles on les comprime, ils n'auraient point hasardé une aussi singulière critique. On a prétendu aussi que l'instrument pourrait produire des résultats funestes, en dilatant l'urètre en avant et en arrière du rétrécissement plus que ce rétrécissement

lui-même ; mais ses dimensions dernières sont déterminées, fixées par la tunique de soie ; il ne peut se distendre au-delà du diamètre de celle-ci ; et si ce diamètre est convenablement choisi, il ne peut exercer son action que sur la partie rétrécie du canal. Enfin, l'on a dit encore que l'instrument exigeait plus d'adresse dans l'opérateur, et plus de connaissance en mécanique que les chirurgiens n'en ont ordinairement. Or de quelle valeur est un tel reproche? que signifie-t-il? Rien, si non que les arts sont progressifs, et que le chirurgien de nos jours est et doit être plus adroit et plus instruit que ceux qui vivaient il y a un siècle. Faut-il que l'oculiste cesse d'employer les instrumens délicats dont il fait usage, parce que tous les chirurgiens n'ont pas la même adresse que lui?

On a tenté de construire des dilatateurs agissant par la simple pression d'un fluide, mais ils n'ont point réussi. Pour les maladies de l'urètre, un simple intestin est plus nuisible qu'utile, parce que son tissu, cédant presque sans limite à la pression exercée, l'opérateur ne connaît jamais au juste sa véritable dimension, ce qui peut avoir de terribles conséquences. — Le docteur Ducamp a bien voulu avouer qu'il n'avait pas, le premier, inventé le dilatateur ; mais, parce qu'il ignorait ce qui constituait ses principales qualités, il ne devait point s'attribuer la gloire de l'avoir, comme il le dit, *simplifié et perfectionné.* Il s'en faut, en effet, que ce soit un perfectionnement d'avoir ôté la tunique de soie, et de n'employer que la seule membrane. — On a construit enfin, et les chirurgiens anglais ont employé une grande variété de dilatateurs métalliques, depuis la publication du *Traité des Rétrécissemens* par *Arnott;* mais bien qu'ils soient d'un usage plus facile que le dilatateur fluide, ils sont privés de ses principaux avantages.

Le *dilatateur* a d'ailleurs un grand nombre d'autres usages dans la chirurgie : — il peut servir à combattre les rétrécissemens de l'œsophage, du rectum, arrêter les hémorragies dans les blessures profondes, dilater les blessures, etc. Sir Astley Cooper et l'auteur de cette Mécanique ont été assez heureux pour épargner à un patient les horreurs de la lithotomie, en introduisant le dilatateur dans une fistule au périnée, de manière à extraire un calcul volumineux sans aucune incision; enfin, le dilatateur a été employé pour l'extraction des calculs chez les femmes.

7° Il est encore fait mention, dans le Traité cité plus haut, d'un moyen perfectionné d'appliquer les caustiques de manière à détruire complètement les rétrécissemens du canal, sans le toucher en aucun autre point. Les caustiques s'appliquaient autrefois à la face antérieure du rétrécissement; cette méthode entraînait presque toujours la destruction de quelque partie saine du canal, avant qu'on pût parvenir à la partie la plus rétrécie, dont l'étendue dépend de la distance des fibres au lieu où elles commencent à tirer en dedans la face interne du canal. Ceci explique comment on a vu appliquer le caustique jusqu'à cent fois, et pourquoi l'on s'exposait si souvent à faire fausse route et à commettre les plus terribles dégâts. Or, en général, il suffit aujourd'hui d'une seule application, parce que le caustique est introduit tout d'abord à *l'intérieur* même du rétrécissement. On parvient à ce résultat (voyez le *Traité d'Arnott*) en fixant un anneau de caustique sur une bougie d'une construction particulière, à environ un pouce de son extrémité; on fait alors passer la bougie jusqu'au rétrécissement à travers un tube ou conducteur; et l'extrémité de cette bougie, en passant au-delà de la

partie rétrécie du canal, guide le caustique à l'endroit même où il doit agir (1).

---

(1) Le docteur Ducamp s'était bien imprudemment aventuré en se donnant pour le premier inventeur des instrumens que nous venons de décrire, et en s'attribuant le mérite de ce mode de traitement, car il était déjà connu comme traducteur d'ouvrages de médecine, et les divers journaux qui traitent de cette science avaient annoncé depuis deux ans le *Traité des Rétrécissemens* de J. Arnott. (*Medico-chirurgical Review*, janvier 1819.) Peut-être s'imaginait-il que les légers changemens proposés par lui dans la construction de trois de ces nouveaux instrumens le mettraient à l'abri de tout reproche le jour où il serait dévoilé; mais eût-il même réellement perfectionné, ne devait-il point quelque chose à l'inventeur; et cependant qu'a fait M. Ducamp? Sa sonde à dilatation est moins parfaite que les sondes métalliques de J. Arnott, sondes que nous n'avons point décrites, parce que la sonde à dilatateur fluide leur a été préférée. — Son *porte-caustique* a le défaut de ne point distendre le rétrécissement au moment de l'application du caustique; et en rejetant la tunique de soie du *dilatateur* proprement dit, il en a fait un instrument non-seulement inutile, mais dangereux: — tel qu'il était obligé d'employer le caustique dans presque toutes les circonstances. Son silence, eu égard à l'explorateur liquide, est un motif de croire qu'il ne l'avait pas compris, bien que le docteur Amussat, de Paris, l'ait employé depuis avec un grand succès. — La même remarque s'applique à la sonde à double courant, ainsi appelée par le docteur Jules Cloquet, qui l'a récemment employée avec beaucoup de zèle.

Voici l'extrait du rapport des commissaires de l'Institut de France, fait en mai 1822, sur l'ouvrage de Ducamp ayant pour titre: *Traité des Rétentions d'urine.*

« Comme cet ouvrage concerne l'un des maux les plus redoutables, les plus communs et les plus douloureux de ceux qui affligent l'homme, nous n'avons pas cru devoir nous borner à un rapport ordinaire.

« Lorsqu'il y a peu d'années vos mêmes commissaires eurent à s'expliquer sur un mémoire relatif à la même matière, et dont il vous avait été également fait hommage, ils ne manquèrent point de louer le zèle et les efforts de son estimable auteur (le docteur Petit), mais ils ne purent dissimuler l'imperfection de ses procédés presque entièrement empruntés ou imités des Anglais.

« L'ouvrage de M. Ducamp ne nous laisse aujourd'hui rien à désirer, *et sur ce point nous n'avons plus rien à envier à nos voisins*;

La maladie communément connue sous le nom de *pierre* peut aussi être rangée parmi celles qu'on combat avec succès par des moyens mécaniques.

L'urine, dans l'état sous lequel elle est sécrétée par les reins, tient en dissolution une variété de substances

---

quoique d'un volume médiocre, il est incomparablement plus complet et plus substantiel que les gros et nombreux livres publiés depuis quelque temps en pays étrangers.

« *** M. Ducamp a laissé bien loin derrière lui ces auteurs, et pour la solidité de la doctrine, et pour la supériorité des expériences, et pour l'invention des instrumens.

« Il prend avec un instrument de son invention, qu'il nomme *sonde exploratrice*, l'empreinte du rétrécissement. (Cette sonde exploratrice est le *examining sound* d'Arnott, page 465.)

« Il se sert pour introduire les bougies dans les cas difficiles, d'une sonde de gomme élastique, qu'il nomme *conducteur*. (C'est le *conducting canula* d'Arnott, page 466.)

« Notre auteur a inventé, pour mesurer la longueur des rétrécissemens, un instrument qui, étant introduit, se déploie au-delà de l'obstacle. (C'est le *dilating sound* d'Arnott, page 466.)

« Le nitrate d'argent est le caustique qu'il emploie contre les rétrécissemens, mais de manière à augmenter sa puissance et à prévenir les dangers qu'il présentait autrefois.

« **** Ayant acquis les connaissances qui lui sont nécessaires sur la forme et l'étendue du rétrécissement, il y porte le caustique au moyen d'un instrument qu'il nomme *porte-caustique*. (*Voyez* page 470, n° 7.)

« ***** Pour distendre à volonté la partie rétrécie du canal, il emploie un instrument qu'il nomme *dilatateur*. (Le *dilator* d'Arnott, page 470.) L'idée de ce mode de dilatation n'appartient point à M. Ducamp: il ne le dissimule pas, d'autres l'ont connu avant lui, mais il a le mérite de l'avoir perfectionné et d'avoir mis à exécution ce qui n'était encore qu'en projet.

« ***** Tout en rendant justice aux hommes habiles qui ont précédé Ducamp, nous devons cependant dire qu'il n'en est aucun qui ait montré autant de dextérité et de talent, et nous pensons qu'il a des titres incontestables à la confiance des malades, à la reconnaissance des médecins, et que son ouvrage mérite les éloges de l'Académie. »

(*Signé*) DESCHAMPS, PERCY, *rapporteur*. — CUVIER, *secrétaire*.

qui se séparent dans certaines circonstances et prennent une forme solide, — à peu près comme le sucre qui se forme en petits cristaux lorsque le sirop qui le tient en dissolution perd une partie de sa chaleur, ou comme le sel qui se sépare de la saumure : — ces dépôts constituent ce qu'on nomme la *gravelle* lorsqu'il n'y a point d'agglomération ; mais il arrive souvent qu'un des petits fragmens de cette espèce de sable urinaire demeure dans la vessie, et attirant bientôt à lui toutes les particules de matière qui se déposent après lui, il devient le noyau d'une masse sans cesse croissante qui prend le nom de *calcul* ou de *pierre*.

Nous extrayons du deuxième traité de J. Arnott le paragraphe suivant (1).

« Les souffrances horribles des personnes affectées de la pierre, et l'affreux remède par lequel on a tenté de combattre cette maladie, la taille, cette opération assez cruelle et assez dangereuse, pour faire préférer à la plupart des malades une vie de langueur et de misère à une chance aussi terrible de guérison, ont excité l'attention et les recherches des médecins et des chirurgiens sur cette partie de leur art plus que sur toutes les autres (2). Toutefois aucun changement bien remarquable n'a eu lieu dans le traitement de cette maladie depuis plus d'un siècle, et les chirurgiens modernes paraissent avoir adopté cette opinion que le mode d'opération pratiqué par Cheselden, il y a environ cent ans, mode qui avait reçu l'épithète de « gloire de la chirur-

(1) Cases illustrative of the treatment of urethral obstructions and of stone, by James Arnott. — Longman, — 1820.

(2) Le Catalogue des auteurs qui ont écrit sur la pierre, n'occupe pas moins de vingt-neuf pages in-4° extrêmement serrées, dans la *Literatura Medica* de Plocquet.

gie anglaise » avait un tel degré de perfection qu'il ne laissait que peu de chances à des progrès futurs. Les espérances qu'avaient fait naître les progrès rapides de la chimie, et en particulier les grandes découvertes sur la pierre faites par Scheele, Wollaston, Fourcroy, etc., s'évanouirent à leur tour; l'on parut désespérer de jamais dissoudre les calculs vésicaux par des lithontriptiques, et d'épargner ainsi aux malades les horreurs de la lithotomie; et les recherches d'un grand nombre d'hommes de génie semblèrent et semblent encore avoir pour but plutôt de prévenir par certains remèdes, et par le régime, la formation de la pierre, que de perfectionner les moyens de la faire disparaître après la formation. Bien que ce sujet paraisse avoir été complètement épuisé, j'ose croire que l'essai que nous présentons aujourd'hui au public prouvera la possibilité d'un assez grand nombre de perfectionnemens dans cette branche importante de l'art de guérir. »

La publication dont nous avons extrait le paragraphe ci-dessus, et le *Traité* qui la précéda renfermaient des descriptions de nouveaux instrumens, l'exposition de procédés nouveaux aussi, et une série de faits intéressans qui excitèrent puissamment l'attention publique en Angleterre, et les recherches sur les perfectionnemens dans le traitement de ces maladies; cet esprit de recherches vers un même but parut se réveiller en France, à peu près à la même époque. Les résultats des investigations qui en seront nécessairement les conséquences ne peuvent manquer d'être d'une haute importance pour l'humanité tout entière, et déjà les diverses publications médicales ont fait connaître des cas nombreux où de nouveaux moyens ont remplacé la lithotomie avec succès. Nous allons présenter un simple aperçu de ces moyens mis à la portée de la généralité

de nos lecteurs ; ceux d'entr'eux qui désireraient de plus grands détails ne pourront se dispenser de recourir aux ouvrages originaux qui traitent de la matière et en particulier à ceux que nous avons cités plus haut.

Le *dilatateur* a été employé avec succès au traitement de la pierre ; nous avons déjà parlé de cet utile instrument.

Sonde à double courant ; on trouve dans les *Cases by J. Arnott* la description de cet instrument, et l'exposition des diverses applications qu'on en a faites. — Cette sonde, ainsi que l'indique son nom, a deux conduits, l'un par lequel on peut introduire un fluide jusque dans la vessie, l'autre par lequel il s'échappe, mêlé avec l'urine. Il est équipé de deux tubes flexibles, dont l'un communique avec le *réservoir d'alimentation*, et l'autre avec le réceptacle. Son emploi permet de calmer les irritations de la vessie, qu'elles proviennent d'ailleurs de la pierre ou de toute autre source, en donnant les moyens d'étendre l'urine et de diminuer ainsi son âcreté, et en permettant d'appliquer des linimens et des liquides médicamenteux à la surface interne de la vessie. La sonde à double courant n'occupe pas plus de place qu'une sonde ordinaire, on peut donc en faire usage comme de celle-ci pendant un temps illimité ; son emploi permet tous les genres d'occupations sédentaires et n'est nullement un obstacle au sommeil. Elle peut agir avec une force suffisante pour distendre une vessie contractée ; il suffit pour cela de placer les réservoirs à une certaine hauteur, ou de laisser le fluide agir sous la pression d'une colonne élevée. C'est encore de beaucoup l'appareil le plus commode pour introduire les dissolvans dont l'action doit s'exercer sur la pierre. L'on sait que l'eau pure suffit pour dissoudre la plupart des calculs ; — il est facile de s'en assurer d'ailleurs en les disposant dans un

courant; — mais la vessie au surplus résiste très-bien, pendant la vie, à l'action des acides ou des alkalis suffisamment étendus.

La sonde à syphon (décrite aussi pour la première fois dans les *Cases d'Arnott*) n'est autre chose qu'une sonde ordinaire, dont la partie externe a assez de longueur pour former la branche la plus longue d'un syphon (voyez *la Pneumatique*); son extrémité extérieure se relève un peu de bas en haut, et elle est prolongée à l'aide d'une petite membrane d'animal, d'un boyau flexible qui y est fixé et agit à la manière d'une soupape pour prévenir l'entrée de l'air. La fonction la plus importante de cet appareil est de maintenir la vessie dans l'état de viduité après les opérations, et jusqu'à ce que la guérison ait déjà fait quelques progrès; l'épanchement de l'urine dans les parties environnantes après la lithotomie a déterminé souvent la mort du malade; la sonde à syphon prévient ce danger en fournissant à l'urine un passage à mesure qu'elle est sécrétée. Cet instrument est quelquefois fort utile pour les sujets dont la vessie est très-irritable; il en prévient les distensions réitérées, et par suite ces contractions qui causent de si vives douleurs.

Un forceps, construit de manière à pouvoir passer à travers un tube jusque dans la vessie, et à s'y ouvrir pour s'emparer d'un petit calcul ou de tout autre objet solide. On trouve la description d'un appareil semblable dans l'*Armamentum chirurgicum* de Scultetus; mais il y fut pour ainsi dire oublié, et les recherches de John Hunter le lui firent réinventer. Il est connu depuis fort long-temps sous le nom d'*urètre de Hunter* ou de *forceps à vessie*. On l'emploie avec succès pour l'extraction des petits calculs, et en l'appliquant à temps on prévient souvent ainsi l'opération de la lithotomie.

Cependant ce forceps a récemment excité au plus haut degré l'attention publique ; on a pu l'appliquer pour faire disparaître la pierre, grâces à la remarque, — remarque qui avait déjà été faite anciennement, — qu'un tube *droit* pouvait s'introduire jusqu'à la vessie, et qu'il n'était point nécessaire d'employer comme conducteurs les tubes *courbes*, ainsi qu'on avait coutume de le faire. On a donc en quelque sorte ouvert une porte directement dans la vessie, porte par laquelle on peut même voir le calcul si on le désire, mais qui permet dans tous les cas de le saisir aisément, de le broyer, et d'en extraire les fragmens sans compromettre en aucune manière les parties vivantes. Le docteur Civiale, de Paris, a le mérite d'avoir le premier construit d'excellens instrumens pour cette opération, et de les avoir déjà souvent appliqués avec le succès le plus complet. Il introduit un forceps d'une grande solidité, qui saisit et maintient la pierre; puis à l'aide d'une fraise qui passe à travers le manche du forceps, et qu'on fait tourner rapidement par le moyen d'un archet qui agit sur la partie extérieure, il perce et broie la pierre, quelle que soit sa grosseur, en fragmens assez petits pour qu'ils s'échappent facilement par le tube ouvert.

Le docteur Darwin avait proposé dès 1790 (voyez *sa Zoonomia*) de saisir ainsi les calculs à l'aide de forceps introduits dans la vessie, et de les broyer ou détruire ensuite mécaniquement; mais la nécessité faussement admise d'agir sur la pierre à travers un long tube recourbé empêcha de tenter aucun essai de ce genre. L'auteur a lui-même montré il y a quelques années (voyez *Cases*, page 93) qu'il était possible d'introduire un sachet dans la vessie vivante, d'y renfermer la pierre, d'injecter enfin dans ce sac un dissolvant convenable, et de l'évacuer ensuite sans l'avoir mis en contact avec la

vessie. Cette expérience avait plutôt pour but de montrer avec quelle précision on pouvait opérer à l'intérieur de la vessie vivante, que de recommander cette méthode de destruction de la pierre.

Depuis les instrumens du docteur Civiale, il en a été inventé quelques autres, et même de fort ingénieux pour broyer la pierre; mais on peut leur reprocher à tous de ne la réduire qu'en fragmens tels qu'ils exigent d'être traités ensuite comme autant de calculs distincts, ce qui nécessite une succession d'opérations douloureuses. — L'auteur a lieu de regarder comme possible de construire un forceps, composé de plusieurs mâchoires ou côtés, qui entoureraient la pierre sans la serrer, c'est-à-dire que l'instrument lui laisserait à peu près la liberté de mouvement dont jouit une amande renfermée dans sa coquille; ce forceps en tournant lui-même en avant et en arrière, comme la fraise dans l'appareil du docteur Civiale, serait bientôt réduite en poudre par le frottement ou l'action de lime de l'intérieur des mâchoires qu'on devrait construire en conséquence; — on remplirait la vessie d'eau ou d'air pendant l'opération, afin d'obtenir assez de place pour le jeu de l'instrument : — ou bien l'on pourrait faire usage d'un forceps externe extrêmement mince qui, agissant à la manière d'une garde, préviendrait tout contact de la vessie avec l'instrument mobile. On s'est assuré que, hors du corps, une pierre beaucoup plus dure qu'un calcul vésical introduite dans une cage de cette espèce, et soumise au même genre d'action se réduisait bientôt en poudre. Il y a plus d'un moyen pour construire de tels forceps, ils se présenteront d'eux mêmes à ceux qui connaissent ce qui a été fait jusqu'ici en ce genre, nous ne nous y arrêterons pas.

La taille hypogastrique, ou par le haut appareil, pré-

sente sur la taille latérale quelques avantages parmi lesquels on peut citer les suivans : le peu de profondeur de l'incision, — la distance de toute artère importante, — l'étendue plus considérable qu'on peut donner à l'ouverture, et par conséquent la facilité d'extraction de calculs plus volumineux, — la non-lésion de la glande prostate. Cette méthode opératoire n'a point été généralement adoptée, parce qu'elle présentait quelques difficultés, entr'autres celles d'éviter le péritoine; — il y avait encore danger d'épanchement de l'urine dans les parties coupées, après l'opération : — enfin, lorsque la vessie était contractée, il fallait donner une grande profondeur à l'incision; mais les instrumens dont nous avons parlé plus haut font disparaître ces objections ; car 1° la sonde à double courant dilatera la vessie contractée; 2° celle à syphon prévient l'épanchement de l'urine; et 3° la sonde *glissante* (voyez *Cases*, page 104) guide sûrement l'opérateur dans les incisions qu'il doit faire. Si donc nous ne possédions point aujourd'hui de méthode moins hasardeuse que la taille pour faire disparaître la pierre, celle dite hypogastrique acquerrait une supériorité incontestable.

Lorsqu'après une opération quelconque, il est nécessaire de retenir une sonde dans la vessie, dans le cas, par exemple, où l'on prévoirait des difficultés pour la réintroduire après son expulsion, il est convenable de faire passer dans son intérieur un petit forceps à ressort, qui, en se débandant à l'intérieur, y forme une espèce de bouton qui l'empêche de s'échapper. (Voyez *Cases*, page 103.)

DES PHÉNOMÈNES UTÉRINS.

Bien qu'un grand nombre des phénomènes que présente l'utérus soient purement mécaniques, nous ne

pourrions les considérer ici avec quelque avantage sans entrer dans des détails qui n'appartiennent point au plan de notre Ouvrage ; nous nous bornerons donc à en indiquer quelques-uns.

L'eau de l'amnios, dans laquelle flotte le fœtus, est destinée à le protéger contre l'effet des chocs que pourrait recevoir la mère ; toute la percussion, en effet, se répand dans la masse de liqueur qui l'environne, et ne produit aucun effet nuisible.

C'est par la tête du fœtus que l'ossification commence ; elle acquiert ainsi un excès de poids spécifique sur les autres parties, qui la fait plonger au fond de son lit de liquide, et la dispose ainsi, le plus souvent, dans la situation la plus convenable pour l'accouchement.

Les membranes, distendues par l'eau de l'amnios, descendent avant la tête ; elles agissent ainsi à la manière d'un coin à la fois doux et puissant qui prépare les voies pour le passage de l'enfant.

Nous avons parlé, page 117, sous le nom *de Tracteur pneumatique*, d'une pièce circulaire de cuir ou de tout autre substance à peu près semblable qui, développée à l'aide d'anneaux ou de rayons solides, pouvaient trouver une application utile en chirurgie. Or, ce simple jouet d'enfant paraît devoir servir un jour fort utilement l'accoucheur ; il ne serait pas impossible qu'il remplaçât généralement le forceps d'acier dans les mains surtout qui, par inaptitude ou par inexpérience, manquent de la dextérité nécessaire pour bien manier cet instrument. Le forceps, pour être sûrement employé, exige une adresse que ne possède pas toujours l'homme le plus favorisé de la nature ; cette adresse ne peut être que le fruit d'une pratique longue et non-interrompue, et, à moins que l'accoucheur ne réside dans une grande ville, on ne peut admettre qu'il soit assez malheureux pour en

faire un fréquent usage; aussi n'est-il qu'un très-petit nombre de personnes dans les mains desquelles il ne devienne point une arme plus ou moins dangereuse. La théorie du tracteur considéré comme instrument de chirurgie obstétrique, appartient proprement à la présente section; mais comme son véritable mode d'action ne peut être compris par les hommes qui ignorent les lois générales de la mécanique ou qui ne les ont point présentes à l'esprit, nous prendrons la liberté de les renvoyer au paragraphe que nous avons consacré à cet instrument, et les engageons, après en avoir pris connaissance, à bien peser les remarques suivantes : — Un tracteur de 7 à 8 centimètres de diamètre exercerait sur un corps quelconque une traction d'environ 100 livres, — c'est-à-dire plus forte qu'il n'est nécessaire ou convenable dans l'accouchement; — en soulevant une pierre, le tracteur n'agit point sur elle comme s'il y était collé ou cloué, mais il porte une partie de la pression atmosphérique, et soustrait à son action une portion de la surface : cette pression s'exerce cependant du côté opposé, et comme elle n'est point contre-balancée, l'effet est le même que si la pierre était continuellement poussée vers le tracteur; — il en est de même lorsqu'on l'applique sur la tête de l'enfant; il ne tire point la peau du crâne, à la manière d'un mastic, d'une glue, comme pourraient être portées à le croire quelques personnes mal informées : mais, en soustrayant à la pression une partie de la surface, il permet à la pression qui s'exerce de l'autre côté, c'est-à-dire, par derrière, de pousser la tête en avant. Il est bien clair d'ailleurs qu'en pareil cas, la pression n'opérerait pas directement sur la tête, mais bien par l'intermédiaire des enveloppes et des viscères contenus dans l'abdomen maternel; du reste, il vaudra toujours mieux, à force égale, faire agir

le tracteur sur une grande surface que sur une petite. Il conviendrait donc de lui donner un assez grand rayon, en laissant à son centre une petite cavité qui y retiendrait une certaine quantité d'air. — Le forceps doit être préférable au tracteur, lorsqu'il s'agit de rectifier la position de la tête et de diminuer son diamètre transverse; cependant il est possible d'employer le tracteur à ces opérations, et avec plus d'avantages qu'on n'est peut-être porté à le croire au premier abord. L'auteur se propose, au surplus, de revenir plus tard, et dans un autre Ouvrage, sur ces objets, qu'il lui est à peine permis d'effleurer dans celui-ci. On y trouvera des détails pratiques, non moins étendus que ceux qu'on a pu remarquer dans le Traité de J. Arnott, *sur le Dilatateur*, *les Sondes à syphon*, etc.

Nous terminerons ce volume par deux remarques qui ne manquent peut-être point d'importance :

1° Il faut se bien convaincre que dans la pratique de la chirurgie générale ou obstétrique, le jugement et l'instruction n'ont véritablement d'utilité qu'autant que ces qualités essentielles sont accompagnées d'une certaine adresse manuelle. Nos systèmes d'éducation laissent beaucoup à désirer sous ce rapport; il nous paraît de la plus haute importance d'y faire entrer l'exercice, et en quelque sorte l'emploi des mains. Les enfans et les jeunes gens, en se familiarisant avec des joujoux ingénieux, des outils de menuisier et de charpentier, en s'exerçant à des jeux d'adresse ou à acquérir une certaine facilité à faire usage des instrumens de musique, etc., etc., se prépareraient sans fatigue à des actes plus importans, et cela dans une saison de la vie où ces divers exercices peuvent trouver leur utilité immédiate;

2° L'auteur, en dirigeant l'attention de ceux qui se

livrent à l'art de guérir sur les considérations mécaniques très-importantes qu'il a tenté d'exposer dans les paragraphes précédens, croit nécessaire de faire remarquer que si les lois de la mécanique trouvent leur application dans le corps vivant, elles y sont presque toujours combinées avec les lois les plus secrètes de la chimie et de la vie; les forces mécaniques, chimiques et vitales, y croisent en quelque sorte leurs effets suivant des lois tellement complexes, qu'on s'expose aux plus grossières absurdités, en basant des théories sur l'une ou l'autre de ces classes prises isolément, et en ne tenant point compte de ses rapports avec les autres. Le temps n'est pas encore bien éloigné cependant où l'on n'avait que des idées passablement fausses sur les fonctions physiologiques, et où les médecins étaient classés, suivant leurs vues diverses, sous les noms de médecins mécaniciens, médecins chimistes, médecins physiciens, médecins vitalistes. Espérons que la vraie philosophie, qui, après tant de siècles, a éclairé de son flambeau les questions les plus complexes et les plus difficiles, aura pour jamais fait disparaître de telles distinctions.

FIN DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES.

Le troisième volume des *Elémens de Philosophie naturelle* a pour objet LA CHALEUR et LA LUMIÈRE.

TABLE DES MATIÈRES

DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES.

PREMIÈRE PARTIE.

SECTION PREMIÈRE.

HYDROSTATIQUE, page 1. — Fluides, 2. — Egalité de pression en tous sens, 4. — La pression croît avec la profondeur, 10. — Niveau des fluides, 18. — Niveau à bulle d'air, 21. — Canaux, 22. — Mouvement perpétuel, 37. — Distribution des eaux, 39. — Puits artésiens, 43. — Poussée des fluides, 45. — Poids spécifiques, 49. — Perte de poids par immersion, 59. — Poussée des liquides, 62. — Natation, 64. — Appareils de sauvetage, 67. — Stabilité des corps flottans, 71. — Stabilité des navires, 72. — Equilibre des fluides entre eux, 77.

SECTION DEUXIÈME.

Fluides aériformes, 83. — Poids de l'air et des gaz, 88. — Elasticité, 89. Elasticité de l'air, 90. — Machine à compression, 91. — Loi de Mariotte, 94. — Fontaine de compression, 97. — Cloche à plonger, 99. — Fontaine de Héron, 106. — Egalité de pression, 108. — La pression croît avec la profondeur, 109. — Pression de l'atmosphère sur les solides, 113. — Hémisphères de Magdebourg, 116. — Tracteur pneumatique, 117. — Suspension des mouches, 118. — Pression atmosphérique sur les liquides, 119. — Pompes, 124. — Syphon, 127. — Fontaines intermittentes, 129. — Influence de la pression atmosphérique sur les corps organisés, 134. — Du baromètre et de ses différens usages, 137. — Influence de la pression atmosphérique sur les corps inorganiques, 154. — De l'ébullition, 155. — De la force élastique de la vapeur, 167. — Des machines à vapeur, 169. — Des explosions, 184. — De l'influence de la pression atmosphérique sur l'état des corps, 186. — De la rosée, 196. — Corps flottans dans l'air, 201. — Aérostats ou ballons, 203. — Ascension de la flamme et de la fumée, 209. — Cheminées, 211. — L'art d'échauffer et d'aérer les habitations, 216. — Des vents ou des courans de l'atmosphère, 224. — De la cuve pneumatique, 231. — Des gazomètres, 232. — De la chimie pneumatique, 234.

SECTION TROISIÈME.

Mouvement des fluides, 238.—Mouvement de l'eau dans les canaux, 246. Des Vagues, 250. — Résistance des fluides, 258. — Du navire, 280. — Moulins à vent, 283. — Cerf-volant, 286. — Machines hydrauliques, 288.

SECTION QUATRIÈME.

Acoustique, 295. — Des sons graves et aigus, 303. — Des divers instrumens, 318. — De l'oreille musicale, 323. — Transmission du son, 325. — De la réflexion des sons, 334. — Oreille humaine, 343.

MÉCANIQUE ANIMALE ET MÉDICALE.

DEUXIÈME PARTIE.

SECTION CINQUIÈME.

De la fluidité dans ses rapports avec les animaux, 346. — Circulation du sang, 347. — Mouvement du sang dans les artères, 352. — Passage du sang à travers les capillaires, 362. — Passage du sang à travers les veines, 366. — De la force du cœur, 383. — De la vitesse du sang dans la circulation, 384. — Du pouls, 385. — Circulation dans la tête, 395. — Des effets de la position sur la circulation, 399. — De la syncope, 401.

De la respiration et de la phonation, 408. — De la voix et de la parole, 423. — Psellisme, 441.

De la digestion, 447. — Pompes à estomac, 456. — Hernies, 460.

De la région pelvienne; de la sécrétion urinaire, 462. — Instrumens, 465. — De la pierre, 473. — Des phénomènes utérins, 479. — Tracteur pneumatique, 481.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES.

TABLE
DES MATIÈRES
DES TOMES I ET II.

A.

Abdomen, page 450, tome II.
Accélération, 77, I.
Acide carbonique, 187, II.
Idem, 235, II.
Acoustique, 295, II.
Actions, réactions, 110; I.
Action du vent sur les voiles, 275, II.
Aérostats, 203, II.
Affinité, 15, I.
Air, sa résistance, 49, I.
— son poids, 88, II.
— 409, II.
Ajutages, leur influence sur l'écoulement, 242, II.
Alcarazas, 196, II.
Anche, 301, II.
Année, 55, I.
Aorte, 348, II.
Apoplexie, 400, II.
Appareil d'Arnott pour la distillation dans le vide, 165, II.
— de sauvetage, 67, 101, II.
— pour échauffer les liquides, 79, II.
— de la société d'humanité, 419, II.
Aqueducs, 39, II.
Arbre de Diane, 27, I.
Arcade plantaire, 246, I.
Aréomètre, 54, 56, II.
Armes à vapeur, 185, II.
Arrimage, 73, II.
Artères, 347, 353, II.
Artère pulmonaire, 349, II.
Articulations, 429, II.
Ascension de la sève, 14, I.
— aérostatique, 205, II.
— de la flamme et de la fumée, 209, II.
Atmosphère, 85, II.
— sa hauteur, 85, II.
— (pression de l'), 86, 93, 108, II.
Atome, page lix, I.
Atomes, sont indestructibles, 2, I.
— leur ténuité, 3, I.
— leur polarité, 26, I.
Attitudes, 136, I.
Attraction, lix, I.
— mutuelle, 7, I.
Attraction, son intensité, pages 9 et 10, I.
— capillaire, 13, I.
— chimique, 15, I.
— de la terre, 73, I.
Attraction, 76, 99, I.
Avantages réels que présente l'emploi des machines, 191, I.
Azote, 237, II.

B.

Balances, 158, I.
— folles, 160, I.
— paresseuses, 160, I.
Balancier, 90, I.
Ballons, 203, II.
Bandages herniaires, 264, I.
Baromètre, 122, 137, 198, II.
— à cadran, 138, II.
— à cuvette, 139, II.
— son emploi dans l'agriculture, dans la marine, 141, II.
— son emploi dans les mines, 142, II.
— son emploi en météorologie, 145, II.
— son emploi dans la mesure des hauteurs, 144, II.
Barre, 257, II.
Base de sustentation, 128, I.
Beauté des formes, 141, I.
Begayement, 433, II.
Bélier hydraulique, 292, II.
Bell (Ch.), examen de sa doctrine, 249, I.
Bile, 449, II.
Blésité, 433, 441, II.
Blessures à la poitrine, 414, II.
Bougies, 464, II.
Briquet pneumatique, 22, I, 190, II.
Brouillards, 196, II.
Bruit de la coquille, 342, II.

C.

Cabestan, 167; I.
Câbles, 106, I.
Calorique, 19, I.

Calorique latent, page 159, II.
Canal intestinal, 449, II.
Canaux, 21, II.
— demi-circulaires, 344, II.
Canule conductrice, 466, II.
Capillarité, 13, I.
Capillaires, 348, 362, II.
Carillon, 321, II.
Catamarans, 256, II.
Caves de Paris, 235, II.
Centre d'inertie, 141, I.
Centres de gravité ou d'inertie, 122, I.
— leur détermination, 124, I.
Centre de percussion, 143, I.
— d'oscillation, 143, I.
Centre de pression, 14, II.
Cerf-volant, 286, II.
Chaînes de fer, 106, I.
Chaleur latente, 22, I.
Changement de direction du mouvement, 194, I.
Chauffage des habitations, 216, II.
Cheminées, 210, II.
— leur usage, 210, II.
— pourquoi elles fument, 211, 213, II.
Choc, 69, I.
— des corps, 115, I.
Chronomètres, 92, I.
Chute des graves, 79, I.
Chyle, 449, II.
Chyme, 449, II.
Circulation du sang, 347, II.
Circulation dans la tête, 395, II.
Circulation (influence de la position du corps sur la), 399, II.
Clef du dentiste, 262, I.
Clepsydre, 245, II.
Cloche à plonger, 6, I. — 59, 98, II.
Cloches, 302; 321, II.
Cohésion, 11, I.
Cohésion (influence du poli des surfaces sur la), 11 et 12, I.
Coin, 176, I.
Colonne vertébrale, 227, I.
— ses déformations, 229, I.
Composantes, 70, I.
Composition des forces, 72, I.
Compressibilité de l'eau, 12, II.
Communications faciles (avantage des), 207, I.
Condenseur, 173, 176, II.
Contraction de la veine fluide, 242, II.
Consonnance, 307, II.
Consonnes, 425, II.
Constitution des masses matérielles, 1, I.
Contractilité des artères, 354, II.
Convulsions, 422, II.
Cordes vibrantes, pages 299, 311, II.
Cornet acoustique, 340, II.
Corps flottans dans l'air, 201, II.
Corps qui, en vertu de son poids, s'élève de bas en haut sur un plan incliné, 126, I.
Corsets, à quoi ils servent, 232, 246, I.
Coude, 239, I.
Côtes, 234, I.
Coup-d'œil sur la division de ces *Elémens de philosophie naturelle*, page lviij.
Cours d'eau, 25, II.
— leur formation, 26, II.
— leurs effets, 27, II.
Couteau, 262, I.
Crâne, 223, 253, I.
Cristallisation, 26, I.
Crochet, 261, I.
Croup, 418, II.
Cuisse, 242, I.
Cuve pneumatique, 231, II.

D.

Décomposition des forces, 75, I.
Déformation de la colonne vertébrale, 229, I.
Densité, 30, I.
Dents, 226, I.
Dérive, 277, II.
Diapason, 316, II.
Diaphragme, 411, II.
Digestion, 447, II.
Dilatateur, 9, 467, II.
Dilatation, 20, I.
Direction des forces, 70, I.
Dissonance, 307, II.
Distillation, 158, II.
Distillation dans le vide, 164, II.
Distribution des eaux, 38, II.
Ductilité, 37, I.
Dureté, 33, I.
Durée des efforts musculaires, 259, I.

E.

Eau, 233, II.
— sa compressibilité, 12, II.
— de l'amions, 480, II.
Ebullition, 156, II.
— dans le vide, 161, II.
Echauffement des liquides, 78, II.
Echo, 334, II.
Eclairage par le gaz, 108, II.
Ecoulement des fluides, 239, II.
— table des vitesses et hauteurs de chute, 241, II

Effet utile, page 152, I.
Effets de la position sur la circulation, 399, II.
Efforts, leurs effets, 454, II.
Egalité de pression, 4, 107, II.
Elasticité, 34, I.
Elasticité des gaz, 89, II.
Elévatoire, 261, I.
Engustrimisme, 442, II.
Epaule, 236, I.
Epine dorsale, 227, I.
— ses déformations, 229, I.
Epine, 253, I.
Equilibre et mouvement des corps solides, 120, I.
Equilibre des fluides entre eux, 77, II.
Esquisse du système des sciences et des arts dans l'ordre de leur étude, page xxx, introduction, I.
Estomac, 449, II.
Etouffement, 419, II.
Eternuement, 417, II.
Evaporation, 193, II.
Examen de la doctrine de Charles Bell, 249, I.
Explosion, 184, II.

F.

Fémur, 242, I.
Fenêtre ovale, 344, II.
Flamme, 209, II.
Fleuves, température de leur surface, et de leur fond, 81, II.
Flexibilité, 39, I.
Fluides, 2, II.
Formules algébriques, note sur leur emploi, pag. lxi, I.
Force centrifuge, 57, I.
Forces, 99, I.
Force des matériaux, 209, I.
Force de l'homme, comment l'employer avec avantage, 254, I.
Force du cœur, 383, II.
Forceps, 260, I. — 476, II.
Fontaine de compression, 96, II.
— de Héron, 106, II.
— intermittentes, 129, II.
Foyers fermés, 217, II.
— ouverts, 217, II. — 220, II.
Fragilité, 36, I.
Frottement, 49, 196, I.
— mesure du, 197, I.
— comment on le diminue, 198, I.
— des liquides, 248, II.
Fumée, 209, II. — 213, II.
Fusée, son ascension, 113, I.
Fusée de montre, 170, I.
Fusil à vent, 96, II.

G.

Guleries parlantes, page 339, II.
Gamme naturelle majeure, 312, II.
Gaz, leur liquéfaction, 87, II.
— leur poids, 88, II.
— leur élasticité, 89, II.
— leur force élastique, 93, II.
Gazomètre, 231, II.
Gelée blanche, 197, II.
Genou, 185, 242, 256, I.
Globules aréométriques, 55, II.
Gouvernail, théorie de son action, 279, II.
Gouverneur de Watt, 61, I.
Guitare, 319, II.
Grâce, 141, I.
Grasseyement, 433, II.
Gravelle, 473, II.
Gravité, 77, I.
Gravitation, 10, I.
Grotte du chien, 235, II.
Grue, 168, I.

H.

Hanche, 241, I.
Harmonica, 322, II.
Harmonie, 314, II.
Harmonique grave, 307, II.
Harpe éolienne, 309, II.
Hémisphère de Magdebourg, 115, II.
Hernies, 264, I.
— 460, II.
Héron, sa machine à vapeur, 112, I.
Hoquet, 417, II.
Horloge, 86, I.
— 88, I.
Howard. Son procédé, 162, II.
— Applications qui en ont été faites, 163, II.
Humérus, 239, I.
Hydrodynamique, 238, II.
Hydrogène, 236, II.
Hygrométrie, 193, II.
Hygromètres, 198, II.
Hydrostatique, 1, II.

I.

Inertie, pag. lix, t. I.
— 43, I.
Influence de la durée des forces, 108, I.
Influence de la forme sur la résistance que les corps éprouvent en se mouvant dans les fluides, 267, II.
Injections, 457, II.
Impénétrabilité, 5, I.

Instrumens de musique, page 317, II.
— à vent, 319, II.
— de chirurgie, 261, I.
Introduction, page v.
Intussusception, 458, II.

I.

Jambe, 244, I.
— de bois, 247, I.
Jambe, 256, I.
Jaugeage des embarcations, 63, II.
Jeu de la Fille invisible, 342, II.
Jour, 55, I.

L.

Labyrinthe, 344, II.
Lacs salés, 31, II.
Lallation ou Lambdacisme, 433, II.
Lames vibrantes, 301, II.
Lampe de Dubarainer, 236, II.
Levier, page 150, I.
— 154, I.
— du premier genre, 156, I.
Leviers du second genre, 162, I.
— du troisième genre, 163, I.
Levier ou vectis, 261, I.
Lévigation, 273, II.
Ligament annulaire, 240, I.
Ligne de direction, 128, I.
— de congélation, 191, II.
Limaçon, 344, II.
Livre de la nature, pag. xl.
Loi de Mariotte, 94, II.
Ludions, 103, II.

M.

Machines, dites simples, 120, I.
Machines, 146, I.
— 7, II.
Les machines ne créent point de force, elles transforment une puissance en une vitesse, et réciproquement, 147, I.
Machines. Les avantages réels que présente leur emploi, 157, 190, I.
— d'action oblique, 185, I.
— à vapeur, d'Héron, 112, I.
— à vapeur, 169, II.
— à haute pression, 175, II.
— à simple effet, 177, II.
— à détente, 178, II.
— à compression, 90, II.
— pneumatique, 91, II.
— hydrauliques, 288, II.
Mâchoire, 226, I.
Main, 240 I.
Mal de mer, page 138, I.
Malléabilité, 37, I.
Manivelle, 169, I.
Marées, 99, I.
Marteau d'eau, 272, II.
Mascaret, 257, II.
Matière, 5, I.
Maux de tête, 399, II.
— de dents, 399, II.
Mécanique animale, 223, I.
— animale et médicale, 346, II.
Mécanisme de la parole, 429, II.
Méditerranée. Son niveau, 33, II.
Médiastin, 413, II.
Mélodie, 314, II.
Mesure des forces, 67, I.
Mesure, 314, II.
Métronome, 90, I.
Mise de la nappe, 200, II.
Mogislalisme, 433, II.
Mollet, 245, I.
Moment, 68, 167, I.
Montagne de la table, 200, II.
Montre, 90, 170, I.
Moufles, 182, I.
Moulin à vent, 282, II.
— à chapelet, 289, II.
Moussons, 230, II.
Mouvement, 41, I.
— Sa permanence, 48, I.
— *commun, relatif, absolu*, 42, I.
— *commun*, 52, I.
— uniforme, 54, I.
— rectiligne, 56, I.
— curviligne, 56, I.
— retardé, 77, I.
— accéléré, 77, I.
— retardé, 82, I.
— curviligne, 93, I.
Mouvemens dus à la répulsion, 96, I.
Mouvement réfléchi, 97, I.
Mouvemens et forces, 99, I.
Mouvement (Quantité de), 64, 66, 68, I.
Mouvement perpétuel, 37, II. — 153, I.
— des solides, 120, I.
— des fluides, 238, II.
Mouvement du sang dans les artères, 352, II.

N.

Natation, 12, 63, II.
Navires en fer, 62, II.
Navire, 277, II.
Navigation par la vapeur, 260, II.
Niveau des fluides, 18, II.
Niveau à bulle d'air, 21, II.

Niveau d'eau, page 37, II.
Nœuds, 308, II.
Noria, 289, II.

O.

Odeur de soie, 215, II.
Œsophage, 449, II.
Omoplate, 236, I.
Oodius, 103, II.
Oreille musicale, 323, II.
Oreille de Denis, 340, II.
— humaine, 343, II.
Orgue, 329, II.
Os et jointures, 255, I.
Oxigène, 234, II.

P.

Partie (deuxième). 120, I.
Parachute, 265, II.
Paradoxe hydrostatique, 6, 70, II.
Parallélogramme des forces, 71, I.
Parole, 423, II.
Passage du sang à travers les capillaires, 362, II, à travers les veines, 366, II.
Pavillon de l'oreille, 343, II.
Pendule, 84, I.
— compensateur, 89, I.
Perte de poids par immersion, 58, II.
Permanence du mouvement, 48, I.
Pesées, 160, I.
— dans l'air, 202, II.
Phénomènes utérins, 479, II.
Phonation, 408, II.
Pied, 244, I.
Pierre, 472, II.
Plan incliné, 173, I.
Pleurer, 415, II.
Plèvre, 412, II.
Pluie, 199, II.
Pneumatique, 83, II.
Poignet, 240, I.
Poitrine, 255, I.
— 411, II.
Poids des corps, 10, I.
Poids spécifique, 32, I. — 49, II.
— leur détermination, 51, II.
— de diverses substances, 57, II.
— Comment les tables de poids spécifiques servent à déterminer les poids absolus, 58, II.
— Méthode de Say pour les déterminer, 151, II.
Point d'ébullition de l'eau à diverses hauteurs, 157, II.
— des divers liquides, 158, II.
Polarité des atomes, 26, I.
Pompe d'exhaustion, 91, II.
Pompes, pages 97, 121, 123, II.
— aspirante, 124, II.
— foulante, 126, II.
— à force centrifuge, 291, II.
— à estomac, 455, II.
Porosité, 28, I.
Porte-voix, 341, II.
Poulie, 181, I.
Pouce d'eau, 244, II.
Pouls, 352, 356, II.
Pouls, 385, II.
— opinion des physiologistes, 386, II.
— opinion de M. Arnott, 387, II.
Poumon, 412, II.
Poussée des fluides, 44, II.
— des liquides, 61, II.
Presse hydraulique, 8, II.
— à la Rossel, 186, I.
Pression longitudinale, 215, I.
— transversale, 217, I.
— des liquides, 10, II.
— dans les mers, 11, II.
— des fluides, 17, II.
— atmosphérique sur les solides, 115, II.
——— sur les liquides, 119, II.
——— sur les corps organisés, 132, II.
— son influence sur les articulations des membres, 136, II.
——— sur l'état des corps, 154, II.
——— sur l'ébullition et l'évaporation des liquides, 162, II.
——— sur la température, 189, II.
——— sur l'état hygrométrique, 193, II.
Projectiles, 95, I.
Proportions chimiques, 16, 17, 18, I.
Psellisme, 433, II.
Puits artésiens, 42, II.

Q.

Quantité de mouvement, 64, 66, 68, I.
— d'action, 152, I.

R.

Réactions, 110, I.
Réflexion du son, 334, II.
Région pelvienne, 241, I. — 462, II.
Régulateur à force centrifuge, 61, I.
— 173, II.
Reins, 463, II.
Répulsion, pag. lix, I.

Digitized by Google

Répulsion du calorique, page 19, I.
— sans chaleur sensible, 24, I.
Répulsion, 76, 96, 100, I.
Résistance de l'air, 49, I.
— des matériaux, 209, I.
— des solides, 210, I.
— des fluides, 259, II.
Résultante, 70, I.
Respiration, 85, 408, II.
— artificielle, 419. II.
Ressorts de voitures, 204, I.
Rétrécissemens de l'urèthre, 464, II.
Rire, 417, II.
Romaine, 161, I.
Rosée, 196, II.
Rotule, 256, 243, I.
Roues de voiture, 202, I.
Roue pénitentiaire, roue à marches, 258, I.
Roues persiques, 290, II.
— hydrauliques, 268, II.

S.

Saignée, 402, II.
Salive, 449, II.
Scie circulaire, 260, I.
— droite, 262, I.
Sécrétion urinaire, 462, II.
Seringue à double courant, 459, II.
Solide, 121, I.
Son continu, 297, II.
Sons graves, aigus, 303, II.
— harmoniques, 308, II.
Son, sa transmission par les corps solides, 325, 327, II.
— à travers les liquides, 326, II.
— sympathiques, 326, II.
— décroissement de son intensité avec la distance, 333, II.
— sa réflexion, 334, II.
Sonde exploratrice, 465, II.
— de dilatation, 466, II.
— à double courant, 475, II.
— à syphon, 476, II.
Soufflet hydrostatique, 8, II.
Souplesse, 39, I.
Sourdines, leur effet, 328, II.
Squelette humain, 247, I.
Stabilité des corps solides, 127, I.
— des navires, 71, II.
— des corps flottans, 74, II.
Stéthoscope du docteur Laennec, 329, II.
Strangulation, 418, II.
Structure des os et des jointures, 255, I.
Suffocation, 418, II.
Submersion, 419, II.
Suc gastrique, 449, II.
Suc pancréatique, page 449, II.
Syncope, 401, II.
Syphon, 123, 126, II.

T.

Tabatières à musique, 328, II.
Tableau des articulations, 431, II.
Table de la ténacité absolue de diverses substances, 39, I.
Taille hypogastrique, 479, II.
Talon, 244, I.
Tambour, 302, 314, II.
Tamtam chinois, 302, 321, II.
Température, dépend de la pression, 189, II.
Ténacité, 39, I.
Tendons, 256, I.
Tension de la vapeur d'eau, 167, II.
— des artères, 353, II.
— des veines, 353, II.
— des muscles abdominaux : ses effets, 453, II.
Tête humaine, 251, I.
Tête (circulation), 395, II.
Théorie du navire, 278, II.
Thermomètre, 21, I.
Timbres, 315, II.
Tirage, 211, 212, II.
Tire-pavé, 117, II.
Tourne-broche, 284, II.
Toux, 416, II.
Tracteur pneumatique, 117, 480, II.
Transfusion du sang, 407, II.
Transmission du mouvement, 194, I.
Trompe d'Eustache, 343, II.
Treuil (Cabestan), 167, I.
Tréphine, 261, I.
Tube de Pitot, 247, II.
Tympan (membrane du), 343, II.

U.

Urèthre, 463, II.
Uretères, *ibid.*

V. W.

Vagues, 250, II.
Vapeur d'eau, 22, I.
——— sa tension, 167, II.
Vase de Tantale, 129, II.
Vases communiquans, 36, II.
Veines, 348, 366, II.
Ventilation des appartemens, 216, II.
— des chambres des malades, 221, II.
Ventilateurs, 283, II.
Ventouses, 134, II.
Ventouse sèche, 404, II.

Digitized by Google

Ventres, page 308, II.
Ventriloquie, 442, II.
Vents, 99, I, — 224, II.
— alisés, 225, II.
— de terre, de mer, 229, II.
Vent. — Son action sur les voiles, 275, II.
Vessie, 463, II.
Vestibule, 344, II.
Vice de prononciation, 433, II.
Violon, 304, II.
Vis, 178, I.
— d'Archimède, 291, II.
Vitesse des eaux courantes, p. 247, II.
— du son, 331, II.
— du son dans les corps solides et liquides, 333, II.
— du sang, 384, II.
Voix, 423, II.
— humaine, 313, 320, 444, II.
Voiture, 200, I.
Volant, 189, I, — 275, II.
Vomissement, 452, 455, II.
Voyelles, 425, II.
Voûtes, 218, I.
Watt (James), 182, II.

FIN DE LA TABLE.

606949

ERRATA DU TOME DEUXIÈME.

Le lecteur est instamment prié de faire les corrections suivantes :

Pages.

121, ligne 12, au-dessous, *lisez :* au-dessus.

ADDITIONS.

167, ajoutez à la fin du tableau que : les nombres qui y sont portés diffèrent très-peu des résultats obtenus depuis l'impression de cette feuille par MM. Dulong et Arago. Voici d'ailleurs la formule empirique qui lie l'élasticité à la température ; e étant cette élasticité en atmosphère, t la température à partir de 100° en prenant l'intervalle de 100° pour unité, on a

$$t = \frac{\sqrt[5]{e} - 1}{0,\ 7153}$$

229, ligne 19, qui les précède. *lisez :* qui les précède,

232, ligne 6, dans la partie supérieure, *lisez:* de la partie supérieure.

Idem, lignes 2 et 3 en remontant, lorsqu'il est à peu près rempli, *lisez :* lorsqu'elle est à peu près remplie.

235, ligne 10, à le faire passer, à l'état liquide, *lisez :* à le faire passer à l'état liquide.

236, ligne 15 en remontant, la densité de ce gaz est 0,688, *lisez :* est 0,0688.

238, analyse de la section, *mettez*, au lieu de : à la fin des 1°, 2° et 3° de cette analyse.

326, ligne 6 en remontant; faites-le résonner, *lisez :* faites-la résonner.

418, ligne 2, s'il arrive, *lisez:* il peut arriver.

440, ligne 11, en remontant, interruption, *lisez :* interruption.

450, ligne 15, tels enfin, *lisez :* telles enfin.

Idem, ligne 10 en remontant; de liquide, et dans lequel, *lisez :* de liquide, dans lequel.

464, ligne 13, ruban : serré, *lisez :* ruban serré.

466, dernières lignes, ou s'introduirait elle-même; etc. etc., *lisez* ou l'introduirait lui-même dans le rétrécissement où il pénétrerait comme le plus aigu de tous les instrumens.

467, ligne 3, pourraient, *lisez :* pouvaient.

478, ligne 18, serait bientôt rédnite, *lisez :* la réduirait bientôt.

480, ligne 13 en remontant, pouvaient, *lisez :* pourrait.

Google

ERRATA DU TOME PREMIER.

Le lecteur est instamment prié de faire les corrections suivantes:

Pages.

10, ligne 15, puisque cette attraction s'accroît, *lisez :* décroît.

15, lignes 3 et 4 en remontant; dernières, *lisez :* diverses.

16, ligne 13 en remontant; dans tous ses effets, *lisez :* dans tous ces effets.

42, ligne 7, mouvement, *lisez :* murmure.

81, ligne 4, en remontant, même note :

$$g=\frac{v}{t}=\frac{2e}{t2}=\frac{v2}{2e}$$

lisez :

$$g=\frac{v}{t}=\frac{2e}{t^2}=\frac{v^2}{2e}$$

81, ligne 9 en descendant, *e* est une poulie, *lisez : c* est une poulie.

86, ligne 4, à en traduire, *lisez :* d'en traduire.

86, ligne 14, se meuve plus vite, *lisez :* se meuve d'autant plus vite.

88, ligne 1, quatre fois plus de longueur, *lisez :* quatre fois moins de longueur.

88, ligne 3, neuf fois plus grande, *lisez :* neuf fois plus petite.

89, ligne 14, la tige *cd*, *lisez :* la tige *id*.

125, ligne 7 en remontant, le centre de gravité des bases, *lisez :* les centres de gravité des bases.

134, ligne 11 et suivantes, —la *manière* dont se ferment d'elles-mêmes les portes suspendues sur leurs gonds, de *manière* à avoir, lorsqu'elles sont *fermées*, une légère inclinaison soit en avant, soit en arrière; ces portes tendent à revenir. . . .

Rétablissez ce paragraphe tout-à-fait tronqué. . :

— le moyen qu'on a employé pour que les portes se ferment spontanément, et qui consiste simplement à donner au gond supérieur une longueur plus grande qu'au gond inférieur; ces portes tendent alors à revenir.

134, ligne 3, en remontant, longueur, *lisez :* grandeur.

148, ligne 20, bas en haut, *lisez :* haut en bas.

150, ligne 16, placés en AB, *lisez :* placés en B.

167, ligne 6, plus courte que *df*, *lisez :* plus courte que *d b*.

180, ligne 8, jusqu'à cent mille, *lisez :* jusqu'à cent, jusqu'à mille.

228, ligne 4, comme un *S* italique, *lisez :* comme un *s* italique.

244, ligne 5, et celui, *lisez :* c'est lui.

250, ligne 3e de la note en remontant, nos élémens, *lisez :* mes élémens.

253, ligne 9 de la note, coquille de cervelle, *lisez :* coquille de la cervelle.

Digitized by Google

.5.

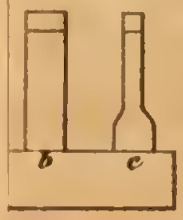


Fig. 6.

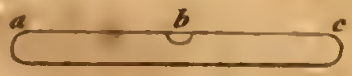
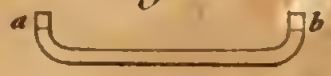


Fig. 8.



.9.

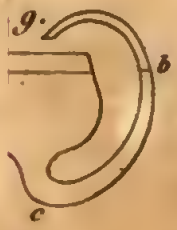
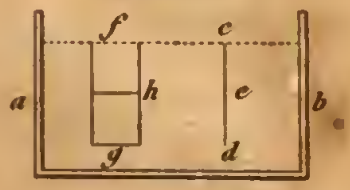
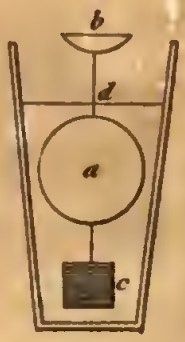


Fig. 11.

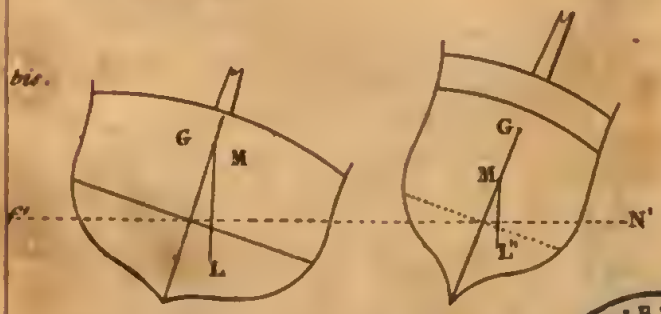


12.

Fig. 13.



bis.



C D

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

Digitized by Google

Fig. 17.

Fig. 18.

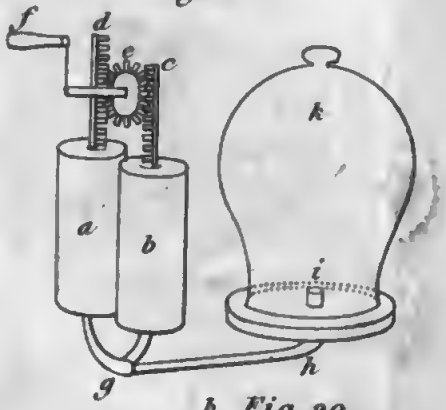


Fig. 25.

Fig. 29.

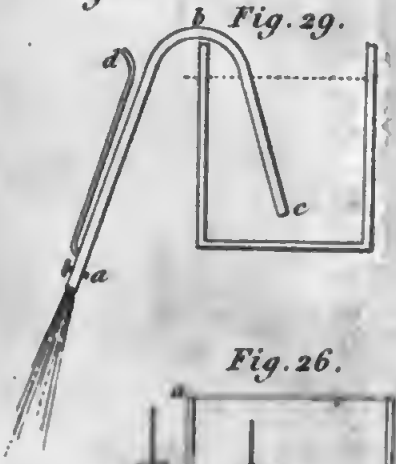


Fig. 26.

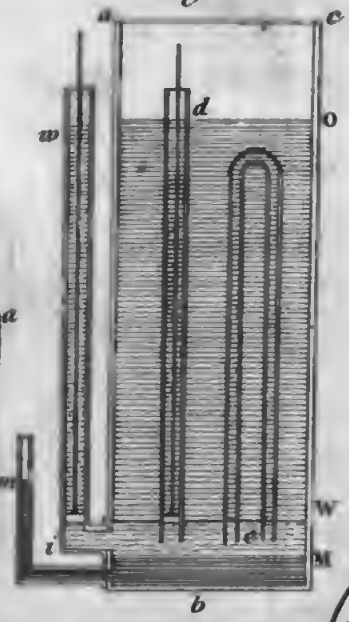
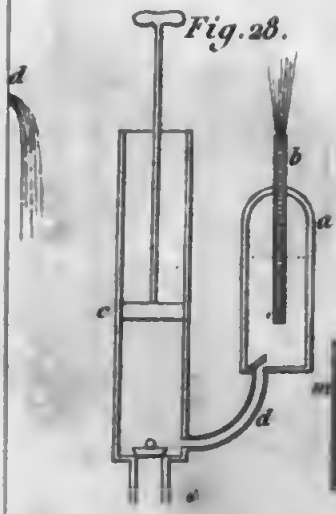


Fig. 28.



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Digitized by Google

33.

Fig. 36

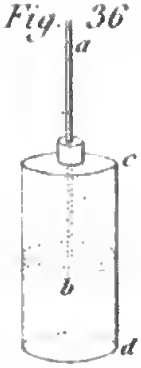
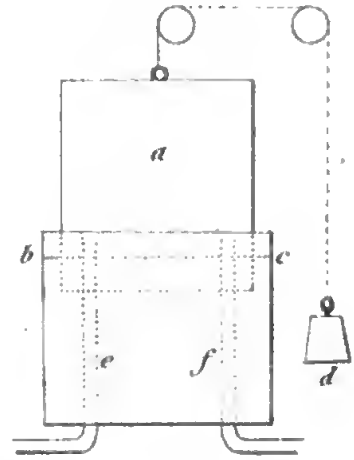


Fig. 39.



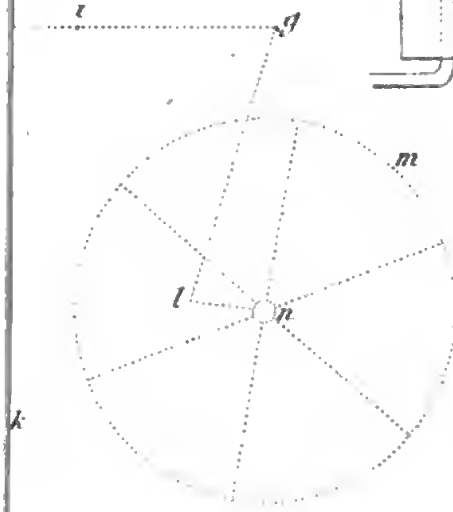


Fig. 41.

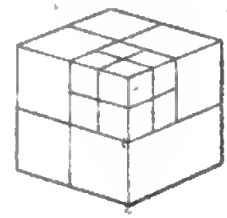


Fig. 43.

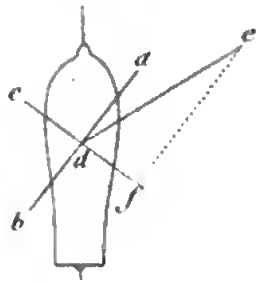
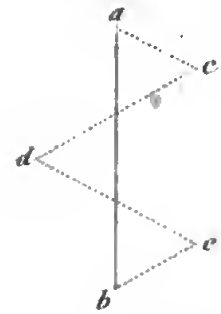


Fig. 45.

Fig. 44.



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Digitized by Google

BIBLIOTECA NAZIONALE UNIVERSITARIA TORINO

Digitized by Google

Fig. 48.

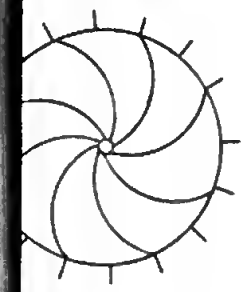


Fig. 50.

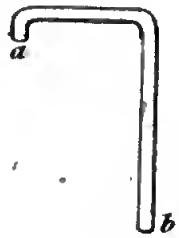


Fig. 52.

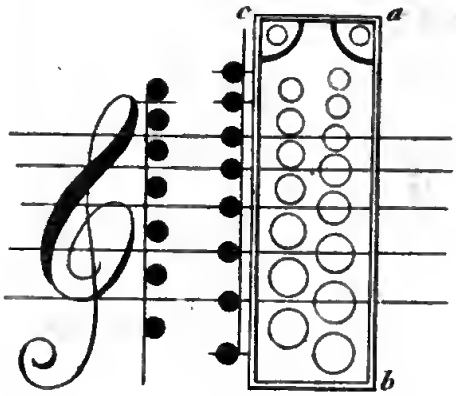
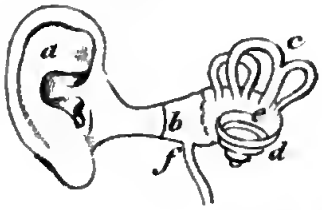


Fig. 55.



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google